

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STATİK İTME (PUSHOVER) YÖNTEMİ  
KULLANILARAK YAPILARIN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Ferhat TEMÜR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Zeki ÖZYURT**

**Haziran 2007**

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# **STATİK İTME (PUSHOVER) YÖNTEMİ KULLANILARAK YAPILARIN ANALİZİ**

## **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Ferhat TEMÜR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 13 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. M. Zeki ÖZYURT  
Jüri Başkanı**

**Prof. Adil ALTUNDAL  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Zeki ÖZYURT 'a minnet ve şükranlarımı sunarım. Eğitimim boyunca emeği geçen tüm hocalarıma da minnet duygularımı sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bana yardımcı olmaya çalışan bütün arkadaşlarıma, özellikle projenin ilerlemesinde büyük yardımı olan değerli arkadaşım İnş. Yük. Müh. Mesut UZ 'a teşekkür etmek isterim. Verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme de teşekkür ederim.

Haziran 2007

Ferhat TEMÜR

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
BÖLÜM 2.	
PERFORMANS KAVRAMI.....	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Performans Seviyeleri.....	6
2.2.1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları.....	6
2.2.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri.....	9
2.2.3. Yapı performans seviyeleri.....	12
2.3. Yer Hareketi.....	14
2.4. Performans Amaçları.....	17
2.4.1. Performans amacı ve sınıflandırılması.....	17
2.5. Performans Amaçlarının Kararlaştırılması.....	19
2.5.1. Başlangıç performans amacı.....	19
2.5.2. Son performans amacı.....	20

### BÖLÜM 3.

DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZ).....	21
3.1. Giriş.....	21
3.2. Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri.....	24
3.2.1. Kapasite eğrisini belirlemek için adım adım işlemler.....	25
3.2.2. Talep (Deprem) spektrumunu belirlemek için adım adım işlemler.....	28
3.2.3. Kapasite spektrum yöntemi.....	28
3.2.4. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması.....	29
3.2.4.1. Kapasite spektrum yönteminin kavramsal ifadesi.....	29
3.2.4.2. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	31
3.2.4.3. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi.....	33
3.2.4.4. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi.....	36
3.2.4.5. %5 Sönümlü elastik talep spektrum eğrisinin oluşturulması.....	38
3.2.4.6. Etkin sönümün tahmini ve %5 sönümlü elastik talep spektrumunun indirgenmesi.....	42
3.2.5. Performans noktasının bulunması.....	46
3.2.5.1. Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi.....	46
3.2.5.2. Prosedür A'yı kullanarak performans noktasının hesaplanması.....	48
3.2.6. Tahmin edilen maksimum deplasmanda adım adım performans kontrolü.....	52

### BÖLÜM 4.

SAYISAL UYGULAMALAR.....	54
4.1. Giriş.....	54
4.2. Genel Bilgiler.....	55
4.3. Sayısal Çözümler.....	60

BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	86

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ADRS	: İvme-yer değiştirme talep spektrumu
ATC	: Applied Technology Council
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
ZEN	: Deprem katsayısı
$A_o$	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$a_p$	: Performans noktası ivme değeri
$C_A$	: Zemin etkili maksimum ivme katsayısı
$C_V$	: Periyodu 1 sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
$d_p$	: Performans noktası deplasman değeri
$E$	: Deprem etki türü katsayısı
$E_D$	: Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
$E_{So}$	: Maksimum şekil değiştirme enerjisi
$F$	: Yanal dış yük
$g$	: Yerçekim ivmesi
$I$	: Bina önem katsayısı
$K_b$	: Başlangıç rijitliği
$n$	: Yapıdaki kat sayısı
$N$	: Ortalama standart penetrasyon
$N_A, N_V$	: Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayısı
$P_{gç}$	: Göçme yük parametresi
$PF_1$	: Birinci doğal mod için modal katılma katsayısı
$S_a$	: Spektral ivme
$S_{ai}$	: Maksimum spektral ivme
$S_{api}$	: Performans seviyesindeki spektral ivme değeri

$S_{ay}$	: Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme
$S_d$	: Spektral yer değiştirme
$S_{di}$	: Maksimum spektral yer değiştirme
$S_{dpi}$	: Performans seviyesindeki spektral yer değiştirme
$S_{dy}$	: Spektral akma yer değiştirmesi
$S_v$	: Spektral hız
$SR_A$	: Spektral ivme azaltma katsayısı
$SR_V$	: Spektral yer değiştirme azaltma katsayısı
$T$	: Doğal titreşim periyodu, (sn)
$T_A, T_B$	: Zemin hakim periyotları
$V$	: Toplam taban kesme kuvveti
$V_s$	: Kayma dalgası hızı
$w_i$	: i. katın ağırlığı
$w_i/g$	: i. seviyede toplanmış kütle
$W$	: Yapı ağırlığı
$Z$	: Deprem bölge katsayısı
$\alpha_1$	: Birinci doğal mod için modal kütle katsayısı
$\beta_0$	: Histerik sönüm
$\beta_{eff}$	: Etkili toplam sönüm oranı
$\Phi_{i1}$	: i. seviyedeki modun şekli
$\delta$	: Yer değiştirme
$\delta_t$	: Talep deplasmanı
$\delta_{tepe}$	: Yapının tepe noktasındaki yer değiştirme
$\kappa$	: Çevrimsel sönüm düzeltme katsayısı



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bina performans seviyeleri.....	18
Şekil 3.1.	Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki.....	25
Şekil 3.2.	Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	32
Şekil 3.3.	Geleneksel talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi	33
Şekil 3.4.	Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli.....	34
Şekil 3.5.	ADRS spektrumuna dönüştürme.....	35
Şekil 3.6.	Kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi.....	36
Şekil 3.7.	Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun birlikte gösterimi.....	37
Şekil 3.8.	%5 sönümlü elastik talep spektrumu eğrisi.....	41
Şekil 3.9.	Spektral indirgeme için sönüm ifadesi.....	42
Şekil 3.10.	%5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi.....	45
Şekil 3.11.	Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişimi.....	46
Şekil 3.12.	Talep ve kompozit (dişli) kapasite spektrumlarının kesişim noktası.....	47
Şekil 3.13.	Prosedür A'da 1. adım.....	48
Şekil 3.14.	Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi. Prosedür A'da 2. adım.....	49
Şekil 3.15.	Başlangıç performans noktasının bulunması. Prosedür A'da 3. adım.....	49
Şekil 3.16.	Kapasite spektrumunun kırıklı hale dönüştürülmesi. Prosedür A'da 4. adım.....	50
Şekil 3.17.	İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması. Prosedür A'da 5. adım.....	50

Şekil 3.18.	İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi. Prosedür A'da 6. adım.....	51
Şekil 4.1.	Mevcut yapıya ait Zemin kat + Normal kat kalıp planları.....	56
Şekil 4.2.	Mevcut yapıya ait Y doğrultusunda, 3 aksı boy kesiti.....	57
Şekil 4.3.	Mevcut yapıya ait X doğrultusunda, E aksı boy kesiti.....	58
Şekil 4.4.	Mevcut yapıya ait 3 boyutlu görünüşü.....	59
Şekil 4.5.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti –çatı deplasmanı eğrileri.....	60
Şekil 4.6.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre performans seviyesi.....	61
Şekil 4.7.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri.....	62
Şekil 4.8.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre X ve Y doğrultusunda yapıya etkileyen deprem yükleri.....	63
Şekil 4.9.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti –çatı deplasmanı eğrileri.....	64
Şekil 4.10.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre performans seviyesi.....	65
Şekil 4.11.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri.....	66
Şekil 4.12.	Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre X ve Y doğrultusunda yapıya etkileyen deprem yükleri.....	67
Şekil 4.13.	1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri.....	68
Şekil 4.14.	1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapının performans seviyesi.....	69

Şekil 4.15.	1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri.....	70
Şekil 4.16.	1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri.....	71
Şekil 4.17.	1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri.....	72
Şekil 4.18.	1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapının performans seviyesi.....	73
Şekil 4.19.	1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri.....	74
Şekil 4.20.	1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri.....	75
Şekil 4.21.	1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapının X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri.....	76
Şekil 4.22.	1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapının performans seviyesi.....	77
Şekil 4.23.	1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri.....	78
Şekil 4.24.	1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapının X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri.....	79
Şekil 4.25.	Güçlendirmede kullanılan perdelerin kalıp planında gösterimi.....	80

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Yapısal performans seviye ve aralıkları.....	9
Tablo 2.2.	Yapısal olmayan performans seviyeleri.....	11
Tablo 2.3.	Yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşiminden elde edilen bina performans seviyeleri.....	14
Tablo 2.4.	ATC-40 ve FEMA deprem seviyeleri.....	15
Tablo 2.5.	Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler.....	16
Tablo 2.6.	Performans amaçlarının sınıflandırılması.....	18
Tablo 3.1.	Analitik işlemlerin algoritması.....	23
Tablo 3.2.	Performans hesabı için yöntem seçim tablosu.....	30
Tablo 3.3.	Deprem bölge katsayısı.....	38
Tablo 3.4.	Kaynağa mesafe katsayısı.....	39
Tablo 3.5.	Zemin sınıfı.....	39
Tablo 3.6.	Deprem katsayısı, $C_A$ .....	40
Tablo 3.7.	Deprem katsayısı, $C_V$ .....	41
Tablo 3.8.	Yapı davranış türü.....	44
Tablo 3.9.	Sönüm düzeltme katsayısı $\kappa$ .....	44
Tablo 3.10.	Spektral azaltma katsayıları $SR_A$ ve $SR_V$ .....	45
Tablo 3.11.	Spektral azaltma katsayıları $SR_A$ ve $SR_V$ 'nin minimum değerleri.	45
Tablo 3.12.	Deformasyon limitleri.....	52

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Pushover Analiz, Kapasite Eğrisi, Kapasite Spektrumu, Nonlineer Statik Analiz, Performans Metodu, Statik İtme Yöntemi

Bu çalışmada, betonarme yapı sistemlerinde gerçeğe daha yakın bir sonuç veren ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan statik-itme (Pushover) analizi anlatılmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapıların deprem karşısındaki davranışları değerlendirilmiş, deprem güvenliğinin tahkiki ve deprem güvenliği yetersiz olan yapıların güçlendirilmesi konuları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca “Statik İtme Yöntemi” kullanılarak mevcut bir betonarme yapının deprem güvenliği tahkik edilmiş ve güçlendirilmiş durumunun performans sonuçları değerlendirilmiştir.

Beş bölüm halinde sunulmuş olan bu çalışmanın, birinci bölümünde çalışmanın amacı, konunun tanıtılması ve konunun önemi vurgulanmıştır.

İkinci bölümde performans kavramı açıklanmıştır. Daha sonra, binalar için yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin, bu seviyelerin birleşmesinden oluşan yapı performans seviyelerinin açıklamaları yapılmış ve bu performans seviyelerinin belirlenmesinde etkili olan kriterler açıklanmıştır. Ayrıca yer hareketlerinden kısaca bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde statik itme yöntemi ile analiz, yapının kapasite eğrisinin elde edilişi, kapasite spektrum yöntemi ve performansın bu yöntemle nasıl bulunacağı anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde STA4-CAD analiz programı yardımıyla beş katlı mevcut bir yapının 1975 ve 1998 TDY’ne göre ayrı ayrı analizi yapılmış, ayrıca güçlendirme yapılarak ta analiz tekrarlanmıştır.

Son bölümde analiz sonuçları karşılaştırılmış ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

# **THE ANALYSES OF THE STRUCTURES WITH THE USE OF STATIC PUSHOVER METHOD**

## **SUMMARY**

**Keywords :** Pushover analyse, capacity curve, capacity spectrum, nonlinear static analyse, performance method, static pushover method

In this research, the pushover analyse, in the concrete structural systems resulting in more realistic analyses and in nonlinear analyse methods has been examined. By using this method, the behaviour of the buildings against the earthquake forces has been considered, the quake safety verification and the reinforcement of the buildings which show unsafety from the point of view of resistance against the quake forces has been explained. Although by using “static pushover analyse”, the verification of the resistance against the earthquake forces of the present building has been done and its reinforced situation’s performance results has been considered.

This research is represented in five chapters, the first chapter includes the aim of this research, introduction the issue and it’s emphasize

Chapter 2 contains the performance concept for the buildings, structural and nonstructural performance levels and in the determination of these levels effective in defining criteria are explained. The ground movements are also referred.

In the chapter 3, analyse by using pushover method, obtain of the capacity curve of the building, capacity spectrum method and how the performance can be achieved are presented.

In chapter 4, five storied present building is analysed by using the STAD4-CAD software according to the TDY respectively 1975 and 1998 version and another analyse has been applicated to the reinforced type of the same building.

In the last chapter analyse outcomes are compared and general lookover has been done.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Yapılar deprem sırasında şiddeti, süresi ve yönü tam olarak kestirilemeyen etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler yapının dayanımı ve stabilitesini önemli ölçüde etkilemekte ve yapının deprem esnasında elastik ötesi deformasyonlar yapmasına neden olmaktadır. Oluşan deformasyonlar yapıda kalıcı hasarlara, hatta yapının stabilitesinin bozulması sonucu yapının yıkılmasına kadar gidecek ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Yapının deprem etkileri altındaki davranışını etkileyen etkenleri; malzemenin lineer olmayan davranışı, taşıyıcı sistem seçimi ve uygulama aşamasında projeye uygun olarak yapının imal edilmemesi olarak sıralanabilir.

Bilindiği gibi günümüzde depreme dayanıklı yapı tasarım yöntemlerinde ana amaç, doğal bir afet olan depremlerden insanların en az zararla çıkması ve can güvenliğinin sağlanması şeklindedir. Ülkemizde 1998 yılında kullanılmaya başlanan afet yönetmeliği de (ABYYHY) Kısım 3'te amaç ve genel ilkelerini sıralarken ana ilke olarak bu duruma değinmiş, binalardan beklenen performans tasarım depremi (50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem) altında binaların aşağıdaki şekilde karşılık vermesi zorunluluğu belirtilmiştir;

“Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi şeklindedir.” [1].

Doğrusal analiz yöntemleri, yukarıdaki bu şartı sağlamak için yönetmeliklerde belirtilmiş olan belli başlı katsayıları kullansa da, deprem sonrası yapıda oluşabilecek hasar durumları için fikir yürütmekte yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, aynı yapının defalarca deprem etkisine maruz kalması sonucunda nasıl bir davranış biçimi sergileyeceği konusu da tam bir belirsizlik arz etmektedir. Buradan hareketle, doğrusal hesap yöntemlerinin yapının deprem hesabında yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir.

Doğrusal analizle yapının elastik kapasitesi belirlenirken, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde yapının elastik ötesi kapasitesi de göz önünde bulundurulmaktadır.

Yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin kademeli artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Statik İtme Yöntemi” denir. Bu yöntem, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastiklik sınırları dışında kalan plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır [2].

Bu yöntemde, oluşturulan modeller küçük artırımlarla ötelenmeye tabi tutulur. Her adımda yapıyı oluşturan elemanların davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai taşıma kapasitesine erişmesi ile sona erer. Bu şekilde, yapı belirlenen yanal öteleme mesafesine erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların, daha önceden tanımlanan göçme deformasyonlarına ulaşıncaya kadar analiz devam ettirilir. Bina göçme durumuna geldiğinde analiz kesilir. Sonuç olarak geline deformasyon seviyesi itibariyle binada deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir. Ayrıca, binanın hangi kesitlerinin daha fazla zorlanmaya maruz kaldığı görülüp ona göre güçlendirme yapılarak, güçlendirme maliyeti optimum bir seviyeye çekilerek daha ekonomik bir şekilde bina güvenliği öngörülen düzeye getirilir.



Sonuç olarak, Statik-İtme Yöntemi deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği ile binanın o depreme verebileceği cevabın (kapasite, kuvvet-deplasman (pushover) eğrisi) kesiştiği noktadaki, diğer bir değişle performans noktasındaki durumunun incelenmesidir. Bu performans noktasındaki bina özellikleri, binanın kullanım amacına ve mal sahibinin yapıdan ne beklediği ile alakalı olarak önceden tespit edilir. Bu noktada ana amaç, ekonomik durumlar ne olursa olsun en az can güvenliği seviyesinin sağlanması olmalıdır. Bu amaçla performansa dayalı tasarımda, belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesi belirlenir.

Günümüzde performansa dayalı tasarımda ATC-40 ve FEMA-356 (FEMA 273/274) olmak üzere birbirine yakın iki yaklaşım mevcuttur.

ATC-40 sadece betonarme binaların incelenmesi, değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için olmasına karşılık, diğer tüm binalar için de kullanılabilir.

FEMA-356; önce FEMA 273 ve FEMA 274 olarak binaların deprem güçlendirmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak, verilen performans kavramına dayalı kavramların yeni proje oluşturulmasında da kullanılması mümkündür. ATC-40'daki kayıtların ilerisine giderek, FEMA-356 bütün binaları kapsamak üzere hazırlanmış olup, kabul kriterleri doğrusal olan ve olmayan çözümleme sonuçları için de verilmiştir. Bu belgede (FEMA-356) açıklanan ana kavram ATC-40 'da verilenin benzeridir.

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Son 30 yılda yapılan araştırmalar ve depremlerde meydana gelen göçme mekanizmaları, mühendisleri lineer olmayan hesaplara yöneltmiştir. Lineer olmayan hesap yöntemiyle, yapının depremde göstereceği davranışı daha önceden büyük oranda kestirilebilmektedir. Bu durum da daha ekonomik ve güvenli çözümler doğurmaktadır. Bu yöntem, deprem mühendisliğinde giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda, lineer olmayan hesap yönteminin tanıtılması, teorik altyapısının iyi anlaşılması ve yeterli sayıda örnekler sunulması büyük önem kazanmıştır.

Bu alışmada, 17 Aėustos 1999 Marmara Depremine maruz kalan beş katlı betonarme bir yapının performans seviyelerindeki farklılığı görmek için, 1975 ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre, yapının 1998 yönetmeliğe göre kat adedinin ikiye indirilmesi halinde ve 1998 TDY göre güçlendirme yapılması halindeki performans seviyeleri ayrı, ayrı incelenmeye çalışılmıştır. Performans seviyelerinin incelemesinde, lineer olmayan bir hesap yöntemi olan Kapasite Spektrum Yöntemi kullanılmıştır.

## **BÖLÜM 2. PERFORMANS KAVRAMI**

### **2.1. Giriş**

Klasik projelendirmede deprem hasarları genellikle yönetmeliklerin verdiği düşey ve yatay yüklerle ve elastik davranışına göre yapılmaktadır. Gerçekte, yapı elastik ötesi davranış göstermektedir.

Bu elastik ötesi davranışa ait yükler azaltma katsayısı ile belirlenmektedir. Bu durumda elastik ötesi davranışın tek bir katsayı ile belirlenmiş olması, depremde oluşacak kuvvetler ve deplasmanlar bakımından yetersiz görülmektedir. Ortaya çıkan yetersizlikler güvenlikte ve güç tükenmesi mekanizmasında bazı belirsizliklere yol açmaktadır. Belirsizlikler, yüksek maliyetli ve aşırı güvenli yapı ortaya çıkarmakta, bu durum da ekonomik olmamaktadır.

Performans kavramı tam bu noktada ortaya çıkmaktadır. Performans kavramı, binanın olası depremlere karşı göstereceği davranışı ifade eder. Yani sismik performans tanımlar. Sismik performans, belirli bir deprem etkisi altında, binalarda önceden kabul edilen sınırlar dahilinde oluşabilecek maksimum hasar durumlarının belirlenmesi şeklinde de tanımlanabilir. Bir performans amacı, sadece bir deprem durumu göz önüne alınarak belirlenebileceği gibi, birden fazla deprem durumu dikkate alınarak da belirlenebilir. Birden fazla deprem etkisini göz önüne alan bu performans amacı, “Çoklu Performans Amacı” olarak isimlendirilir [2,3].

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde bir binanın deprem performans amacı, iki soruya cevap verilerek tanımlanır. Binada depremden sonra nasıl bir hasar seviyesi ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir? Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır? Bu iki sorunun cevabının birleştirilmesi ile Bina Deprem Performans Amacı tanımlanır [4].

Bir bina inşa edilmeden veya güçlendirilmeden önce bu binaya uygun performans amacı, bina sahibi ile mühendis tarafından ortak bir mutabakata varılarak belirlenmelidir. Performans amacı belirlendikten sonra ilgili mühendis analizlerde kullanılacak sismik talebe göre kabul edilebilirlik kriterleri çerçevesinde yapısal ve yapısal olmayan elemanların tasarımını veya kontrolünü kolaylıkla yapabilir. Hesaplarda kabul edilmiş düzeyde olan bir yer sarsıntısı meydana geldiği zaman, eğer uygulamada bir hata yapılmamış ise, yapının beklenen performans seviyesine, hatta daha yüksek bir performans seviyesine ulaşması beklenir. Ancak pratikte her zaman böyle olmamaktadır. Bunu temel sebepleri arasında, uygulamadaki yanlışlıklar ve projelendirmedeki muhtemel yanlışlıklar sayılabilir.

Bu bölümde yapı performans seviyeleri, bu seviyelerin kombinasyonları, performans seviyelerinin nasıl tespit edileceği ve deprem risk seviyeleri gibi konulara ilişkin ayrıntılı bilgi verilmektedir.

## **2.2. Performans Seviyeleri**

Performans seviyelerini belirleyen durumlar; yapıda depremden sonra olması beklenen fiziksel hasarlar, bu hasarların oluşturduğu can güvenliği tehdidi ve yapının deprem sonrası hizmet verebilmesi olarak tanımlanır.

Performans seviyeleri binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanları için ayrı ayrı belirlenir. Beklenen deprem sonrasında, istenilen performans derecesine göre yapısal ve yapısal olmayan elemanlara ait ortak bir seviye belirlenerek tüm yapının performans değeri bulunur. Yani hedeflenen performans seviyesi yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonları olarak ifade edilir.

### **2.2.1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları**

Yapısal performans seviyeleri SP-n harfleri ile simgelenir. Yapı elemanlarındaki performans seviyeleri az hasardan çok hasara göre şu şekilde tanımlanır.

- Hemen kullanım performans seviyesi (SP-1):

Deprem sonrasında çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Yapının taşıyıcı sistemleri deprem öncesi karakteristiklerini ve kapasitelerini korumaktadır. Yapısal hasardan dolayı yaralanma riski yok denecek kadar azdır. Yapının depremden önceki kullanım durumu, deprem sonrasında da devam etmektedir.

- Hasar kontrolü performans aralığı (SP-2):

Deprem sonrasında yapıda meydana gelen hasarın, Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) ile Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) arasında bulunduğu yapısal performans aralığıdır. Bu performans aralığı, can güvenliğinin sağlanmasının yanında hasar miktarının da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelmektedir. Yönetmeliklerde, yeni yapılar için 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi yaklaşık olarak bu aralığa düşmektedir.

- Can güvenliği performans seviyesi (SP-3):

Deprem sonrasında yapıda önemli ölçüde yapısal hasarın meydana geldiği fakat kısmen veya toptan göçmenin söz konusu olmadığı durumdur. Yapıda göçmeyi önleyecek bir ek kapasite mevcuttur. Önemli yapısal elemanların, yapı içerisinde veya dışında can güvenliğini tehdit edecek şekilde kırılması veya düşmesi söz konusu değildir. Deprem esnasında yaralanmalar olsa bile, yapısal hasardan kaynaklanan hayati tehlike oluşturabilecek yaralanma riski çok düşüktür. Yapının tekrar kullanımı için kapsamlı yapısal onarımlar gereklidir. Ancak, oluşan hasarın onarılması her zaman ekonomik açıdan pratik olmayabilir. Yönetmelik esaslarına uygun olarak tasarlanan yeni yapıların, bu yapısal performans seviyesinden daha fazla deplasman yapması düşünülmüştür.

- Sınırlı güvenlik performans aralığı (SP-4):

Bu seviye net bir seviye değildir. Can güvenliği (SP-3) ile yapısal stabilite (SP-5) performans seviyeleri arasında kalmaktadır. Bir binanın güçlendirilmesinde, can güvenliğinin tam olarak sağlanmaması durumunda göz önüne alınabilir. Sınırlı güvenlik aralığında güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmecektir. Ancak can güvenliği performans seviyesinden daha fazla, yapısal stabilite seviyesinden ise daha az bir güçlendirme gerekecektir.

- Toptan göçmenin önlenmesi (Yapısal stabilite) performans seviyesi (SP-5):

Bu performans seviyesinde yapı taşıyıcı sistemi güç tükenmesi durumuna gelmiştir, yani yapının taşıyıcı sistemi kısmi veya toptan göçmeye ulaşma sınırındadır. Yapıda önemli hasarlar oluşmuştur, yanal rijitlik ve yük taşıma kapasitesi de önemli ölçüde zayıflamıştır. Buna rağmen yapı taşıyıcı sistemi, sabit ve hareketli tüm düşey yükleri karşılayacak durumdadır. Yapı tüm stabilitesini kaybetmemesine rağmen, deprem sonrası oluşacak artçı şoklar yapının yıkılmasına sebep olabilir. Binanın içinde ve dışında, binadan düşebilecek parçalardan dolayı önemli yaralanmalar görülebilir.

Binanın tekrar kullanılması gerekiyorsa mutlaka çok iyi bir şekilde güçlendirilmesi ve onarılması gerekmektedir. Ancak bu tür yapılarda yapılması gereken güçlendirme, hem teknik olarak hem de ekonomik olarak zayıf bir olasılıktır. Toptan göçme tehlikesi, bu performans seviyesinde kesin bir şekilde engellenememiştir. Yeni binaların tasarımında, yapısal stabilite performans seviyesinin maksimum deprem etkisi altında sağlanması gerekir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu performans seviyesinin sağlanması, daha yüksek bir deprem etkisi olduğu zaman yapının güç tükenmesi sınırının üstüne çıkması durumuna karşı gelir. Bu durum kabul edilemez.

- Taşıyıcı elemanların hasarının göz önüne alınmadığı performans seviyesi (SP-6):

Bu net bir performans seviyesi değildir; fakat yapısal olmayan elemanların (duvarlar, asma tavan, yüzey kaplamaları, eşyalar vb.) sismik açıdan değerlendirilmesini ve güçlendirilmesini amaçlayan bir seviyeyi ifade eder. Örneğin, içerisinde manevi açıdan değeri oldukça yüksek olan eşyaların bulunduğu bir binanın yıkılması durumunda dahi içerisindeki eşyalara zarar gelmemesinin istendiği hallerde, binanın korunmasının yanında içerisindeki eşyalarında ayrıca korunmasının gerektiği bu seviyeyle ifade edilebilir.

Tablo 2.1. Yapısal performans seviye ve aralıkları

PERFORMANS SEVİYESİ	PERFORMANS ARALIĞI	TANIM
SP-1		Hemen kullanım performans seviyesi
	SP-2	Hasar kontrolü performans aralığı
SP-3		Can güvenliği performans seviyesi
	SP-4	Sınırlı güvenli performans aralığı
SP-5		Yapısal stabilite performans seviyesi
SP-6		Yapısal performansın göz önüne alınmadığı durum

### 2.2.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri

Yapısal olmayan performans seviyeleri NP-n harfleri ile simgelenir. Bu performans seviyeleri, yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisinde oluşacak hasar durumlarını açıklar. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamalarındaki teknik kriterleri belirlemek için de kullanılır.

- Kullanıma devam performans seviyesi (NP-A):

Taşıyıcı olmayan eleman ve sistemlerin deprem sonrası yerlerini ve işlevlerini korudukları hasar durumu olarak tanımlanmaktadır. Küçük onarımlar gerekse de, ekipmanlar çalışır durumdadır. Yapısal olmayan elemanların kullanımını engelleyen bir hasar söz konusu değildir.

- Hemen kullanım performans seviyesi (NP-B):

Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar genel olarak yerlerini korumakla beraber, yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde küçük hasarların olduğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bazı eleman ve ekipmanların onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa sürede giderilerek yapı kullanılmaya açıktır.

- Can güvenliği performans seviyesi (NP-C):

Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde dikkate değer bir hasarın olduğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bununla birlikte, yapının içinde veya dışında çeşitli yaralanmalara sebep olabilecek ağır elemanların göçmesi veya düşmesi söz konusu değildir. Yapısal olmayan sistemlerin, ekipmanların ve makinelerin onarılması veya yenilenmesi gerekli olabilir. Deprem esnasında yaralanmalar olmakla birlikte, yapısal olmayan hasardan dolayı can güvenliğini tehdit edecek yaralanmalar meydana gelmez.

- Azaltılmış hasar performans seviyesi (NP-D):

Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda ve sistemlerde önemli hasarlar meydana gelir. Ancak, parapet, dış yığma duvar, cephe kaplaması veya ağır tavan gibi büyük parça düşmesi sonucu bir yaralanma söz konusu değildir.



-Yapısal olmayan elemanların hasarının göz önüne alınmadığı performans seviyesi (NP-E):

Bu seviye net bir performans seviyesi olmamasına rağmen mühendis ve yapı sahibi için yapının durumunun saptanmasını kolaylaştırır.

Yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme herhangi bir etkisi ve katkısı olmadığı kabul edilerek hesaplar yapılır. Ancak pratikte böyle olmadığı deprem anında çerçevelerin içine örülen bölme duvarların çerçevelere yardım ettiği ve yanal yükün yaklaşık olarak %15'nin bu bölme duvarlar tarafından taşındığı düşüncesi hakimdir. Bu nedenle, deprem esnasında birçok can kaybına sebebiyet veren yapısal olmayan elemanların yapımında da gereken önem verilmelidir.

Tablo 1.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri

PERFORMANS SEVİYESİ	TANIM
NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi
NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi
NP-C	Can güvenliği performans seviyesi
NP-D	Azaltılmış hasar performans seviyesi
NP-E	Yapısal olmayan performansın göz önüne alınmadığı durum

### 2.2.3. Yapı performans seviyeleri

Binanın deprem etkisi altında beklenen performansı; ortaya çıkacak hasar, ekonomik kayıp ve faaliyete ara vermenin sakıncasının toplamı olarak görülür. Buna bağlı olarak yapı performans seviyeleri, yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birlikte düşünülmesi ve binadaki hasarları sınırlandırmak amacıyla, bunların kombine edilmesi sonucunda oluşur. Mümkün olan kombinasyonlar Tablo 2.3’de gösterilmiştir. Kullanım açısından 1-A, 1-B, 3-C, 3-D, 5-E performans seviyeleri daha yaygındır.

- Kullanıma devam performans seviyesi 1-A (B):

Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Bina deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Binada hasar sınırlandırılmış olduğu için, can güvenliği tehlikesi yoktur ve hiçbir onarıma ihtiyaç duyulmadan bina kullanılabilir.

- Hemen kullanım performans seviyesi 1-B (IO):

Bu seviye, önemli binalar için öngörülen seviye olup, binanın bütün hacimleri ve sistemleri kullanılabilecek durumdadır. Buralarda küçük onarımlara ihtiyaç duyulabilir. Ayrıca, yapı deprem öncesi rijitliğini ve dayanımını önemli ölçüde korumaktadır.

- Can güvenliği performans seviyesi 3-C (LS):

Taşıyıcı sistemde hasar mevcut olduğu halde, önemli bir kapasite kalmıştır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kontrol altındadır. Bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi çok düşük bir olasılıktır. Sarsıntı anında eşyalar hareket edebilir, sarsıntı sonrası kimyasal tehlike ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi, günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngörmüş olduğu performans seviyesinden biraz daha düşük bir seviyedir. Yani yönetmelikler, binanın bu seviyedekinden daha fazla deplasman yapmasını öngörür.

- Bina performans seviyesi 3-D :

Taşıyıcı elemanlardaki can güvenliği seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanlardaki azaltılmış hasar seviyesinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan, 50 yıl/%10 olasılıklı deprem tanımını alarak yapılan ve deprem kuvvetlerinin %75'ini alacak şekilde gerçekleştirilen güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilebilir.

- Yapısal stabilite (Toptan göçmenin önlendiği) performans seviyesi 5-E (CP):

Bu performans seviyesi yapı taşıyıcı sistemi veya yatay yük taşıyan sistem için tanımlanabilir. Deprem sonrası yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini koruyabilmektedir. Yapı, dayanım ve rijitliğinin önemli bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Yapının artçı depremlere karşı göçme güvenliği kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar önemli boyuttadır ve bundan kaynaklanan can güvenliği riski söz konusudur. Yapının onarılması çoğu kez pratik ve ekonomik bakımdan uygun değildir. Yapılarda bu performans seviyesi istenmez.

Tablo 2.3. Yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşiminden elde edilen bina performans seviyeleri [4]

YAPISAL OLMAYAN PERFORMANS SEVİYELERİ	YAPISAL PERFORMANS SEVİYELERİ					
	SP-1 Hemen kullanım	SP-2 Hasar Kontrolü (aralık)	SP-3 Can güvenliği	SP-4 Sınırlı güvenlik (aralık)	SP-5 Yapısal stabilite	SP-6 Göz önüne alınmadı
NP-A Kullanıma devam	1-A Kullanıma devam	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Hemen kullanım	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Can güvenliği	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış hasar	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Göz önüne alınmadı	NR	NR	3-E	4-E	5-E Yapısal stabilite	UYGU LANMAZ

NR: Tavsiye edilmez

### 2.3. Yer Hareketi

Performansa dayalı tasarımda, seçilen belirli bir yapı performans seviyesinin hangi deprem etkisi altında elde edilmesi gerektiği belirlenmelidir. Bunun yapılabilmesi için yer hareketi ve istenilen performans seviyesi birleştirilmelidir. Sonuçlar, seçilen deprem parametreleri için incelenecektir. Yer hareketinin belirlenmesi tasarım için kesinlikle gereklidir. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi, spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılır.

Deprem 50 yıl içindeki aşılma olasılığı tanımından veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama dönüş periyodu tanımından hareket edilir. Bu iki tanım arasındaki ilişki Tablo 2.4’de verilmiştir. ATC-40’ta üç, FEMA’da ise iki farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır.

Tablo 2.4. ATC-40 ve FEMA deprem seviyeleri

ATC-40	FEMA
SE, Servis Depremi	TGD-1 Temel Güvenlik Depremi 1
DE, Dizayn Depremi	TGD-2 Temel Güvenlik Depremi 2
ME, Maksimum Deprem	

- Servis depremi (Kullanım depremi) (SE):

50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %50 olan yer hareketidir. Servis deprem seviyesi, tasarım depremi seviyesinin yaklaşık yarısıdır. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin yapının ömrü boyunca olma ihtimali çok yüksek fakat şiddeti ve büyüklüğü az olan bir depremi tanımlar.

- Dizayn (Tasarım) depremi (DE):

50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %10 olan depremlerdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok düşük bir ihtimaldir.

- Maksimum deprem (ME):

50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olacak şekilde, bölgedeki jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu depremin etkileri, tasarım depremi etkisinin yaklaşık 1,25 ~ 1,5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde, tasarım depreminin etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması suretiyle böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır.

- Temel güvenlik depremi 1 (TGD-1):

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlerdir ve TGD-2'nin üçte ikisinden küçük olan depremdir.

- Temel güvenlik depremi 2 (TGD-2):

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerdir ve bölgede ya da fayda kaydedilmiş depremlerin ortalamasının 1,5 katından küçük olan depremlerdir.

FEMA'da tanımlanan TGD-1, ATC-40'daki DE'ye ve yine FEMA'da tanımlanan TGD-2'nin ise ATC-40'daki ME'ye denk düştüğü söylenebilir [5].

Tablo 2.5. Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler

AŞILMA OLASILIĞI	ESAS ALINAN ZAMAN ARALIĞI	ORTALAMA DÖNÜŞ PERİYODU
%50	50 yıl	72 yıl
%20	50 yıl	225 yıl
%10	50 yıl	474 yıl
%2	50 yıl	2475 yıl

## 2.4. Performans Amaçları

### 2.4.1. Performans amacı ve sınıflandırılması

Performansa dayalı tasarımda sismik performans amacı, büyüklüğü verilen yer hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Performans amacı, farklı yer hareketi seviyesi için farklı performanslar seçilerek belirlenir. Binanın depremde sonra kullanılabilmesi için, ileri seviyede bir amaç seçilebilir. Ancak, bu durumda güçlendirmenin ağır ve maliyetinin de yüksek olacağı unutulmamalıdır. Güçlendirme işleminde bir bina için göz önüne alınacak amaç, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak Tablo 2.6'da verilmiştir.

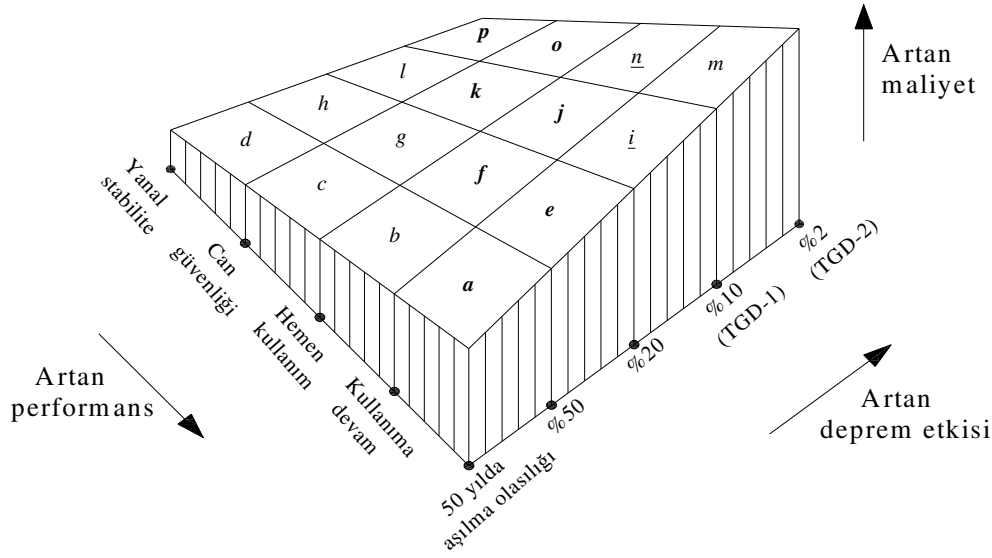
Burada Temel Güvenlik Depremi 1 (TGD-1) ve Temel Güvenlik Depremi 2 (TGD-2) olmak üzere iki deprem etkisi tanımlanmıştır. Tablo 2.6'da verilen performans amaçlarından birinin seçiminde; seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etki seviyesinin belirlenmesinin yanında, binanın güçlendirme maliyeti ve binanın depremde kısa bir süre sonra kullanılabilmesi durumu da etkili olacaktır. Performans seviyelerinin maliyetle ilişkisi Şekil 1.1'de verilmiştir. Bir bina için tek performans seviyesi seçilebileceği gibi, birden fazla performans seviyesi de seçilebilir. Örneğin, TGD-1 depreminde can güvenliği performans seviyesi ve TGD-2 depreminde de yapısal stabilite performans seviyesi seçilebilir.

Tablo 2.6'da bulduğumuz performans sonucunda binaya gereken güçlendirme işlemleri uygulanmaya başlanır. *a,f,k,p* amaçları ana binalar için *e,j,o* önemli binalar için ve *l,n* ise güvenliği çok özel olan binalar içindir.

Tablo 2.6. Performans amaçlarının sınıflandırılması [9]

Performans Amacının Saptanması				
	Yapı Performans Seviyeleri			
Deprem Etki Seviyesi	Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO)	Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS)	Yapısal Stabilitate Performans Seviyesi 5-E (CP)
%50 / 50 yıl Servis Depremi (SE)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
%20 / 50 yıl	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
TGD-1 ~%10 / 50 yıl Tasarım Depremi (DE)	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
TGD-2 ~%5 / 50 yıl Maksimum Deprem (ME)	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>





Şekil 2.1. Bina performans seviyeleri

## 2.5. Performans Amaçlarının Kararlaştırılması

Performans amacı, başlangıç ve son performans amacı olarak ayrılırsa başlangıç amacı bina sahibi ve yükümlü mühendis tarafından değiştirilebilir. Son performans amacı ise boyutlandırma ve güçlendirmede kullanılır ve raporlarla belirtilir.

### 2.5.1. Başlangıç performans amacı

Yapının tüm performans hedefi; özel yapılar için yapı sahibi tarafından, kamuya ait binalar için ise ilgili kamu kuruluşu tarafından her bina için değerlendirme ve güçlendirmenin yapılmasından önce belirlenir. Başlangıç performans amacının belirlenmesinde, her türlü durum değerlendirilmek suretiyle mevcut koşullardaki en uygun kararın verilmesinde, sorumlu mühendis bina sahibine yardımcı olmalıdır. Güçlendirme projesi veya sismik değerlendirmeyle ilgili beklentilerin belirlendiği bir durum raporunun hazırlanması, bina sahibi ve tasarım ekibine mevcut kaynaklarla yapılabilecek en uygun performans amacının belirlenmesinde yardımcı olur.

### **2.5.2. Son performans amacı**

Başlangıç hedefi, bina sahibi tarafından, sorumlu mühendis ile koordinasyon halinde; fiyat, tarihi değerinin gözetilmesi, binanın kalan ömrü ya da diğer durum ve sınırlamalar düşünülerek gözden geçirilebilir ya da üzerinde bazı değişiklikler yapılabilir. Değerlendirme ve güçlendirme aşamasında kullanılan sonuç performans amacı, değerlendirme raporunda ve güçlendirme çizimlerinde açıklanarak ifade edilmelidir.

## **BÖLÜM 3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZ)**

### **3.1. Giriş**

Bu bölümde yapıların performansının belirlenmesi için uygulanacak olan statik-itme (pushover) analiz yönteminin esasları ve gerekli analitik işlemler açıklanmıştır. Bunlar lineer olmayan analiz için basitleştirme yöntemleri, kapasiteyi ve karşılığı (talep) belirlemek için gerekli işlemler ve performans kontrolü için gerekli işlemler olarak sayılabilir [2].

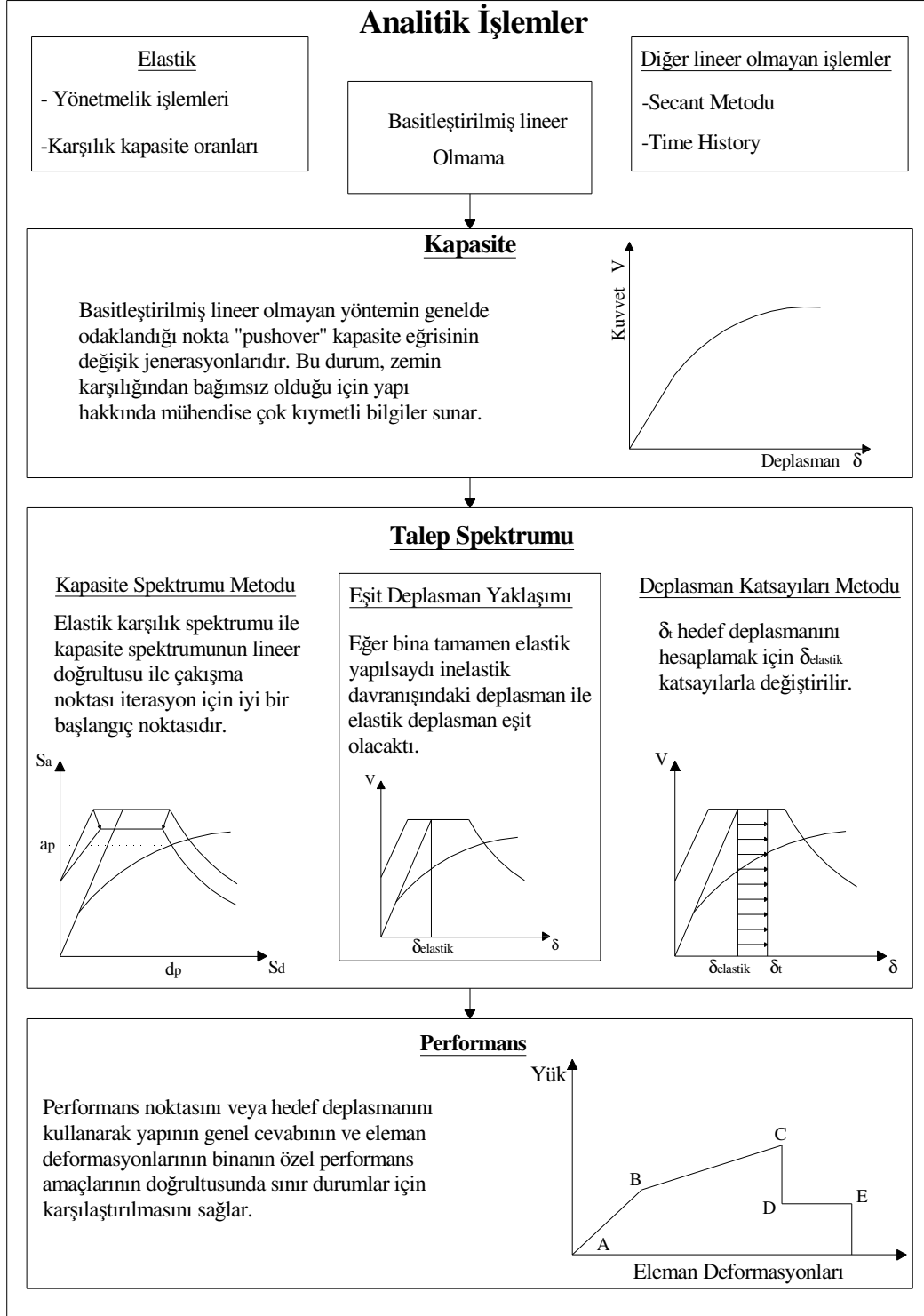
Betonarme yapılar için elastik (lineer) ve inelastik (lineer olmayan) analiz olmak üzere çeşitli analiz yöntemleri vardır. Lineer analiz yöntemlerinde sadece malzemenin lineer sınırlar içindeki davranışı göz önüne alınır. Malzemenin lineer olmayan davranışları hesaba katılmadığı için malzemede kalan ek kapasiteden yararlanılamamaktadır. Lineer olmayan birçok temel analiz metodu tamamıyla lineer olmayan time history analizine dayanır. Fakat, Time History analizi yaygın olarak kullanılamayacak kadar karmaşık bir hesap yöntemidir.

Bununla beraber kullanımı daha kolay olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri de mevcuttur. Bu basitleştirilmiş analiz yöntemlerinden, kapasite (pushover) eğrisi ile indirgenmiş talep (Response) spektrumu eğrilerinin kesişim noktalarını bulmak suretiyle uygulanan “Kapasite Spektrum Yöntemi” (CSM) ile doğrusal olmayan analiz işlemleri kolayca yapılabilir. Bu bölümde kapasite spektrum yöntemi ile lineer olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanmasına yer verilecektir.

Yapıların tasarlanmasında kullanılan doğrusal analiz yöntemleri; yapıya etki ettirilen yükler altında, kontrol edilen malzeme özelliklerine bağlı olarak yapının elastik kapasitesi ve ilk akma durumunun nerede olabileceği hakkında fikir verse de, akma sonrası kuvvet dağılımlarını ve hasar mekanizmasını belirlemede yetersiz kalır. Buna karşın, lineer olmayan analiz yöntemleri, binaların göçme anına kadar olan davranışlarının ve yıkılma durumundaki mod şekillerinin nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıklıkla gösterir. Projelendirme için lineer olmayan yöntemlerin kullanımı, mühendise deprem esnasında yapının elastik sınır aşıldıktan sonra nasıl davranacağı hakkında çok iyi fikir verdiği gibi, gerçeğe yakın çözümler bulunmasını ve esnek yorum yapılabilmesini sağlar.

Lineer olmayan bir analiz yöntemi olan kapasite spektrumu yöntemi, binanın toplam taban kesme kuvveti ile en üst katında meydana gelen deplasman arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisiyle, sismik yer hareketini ifade eden talep (Response) spektrumu eğrisinin karşılaştırılmasını grafik bir ortamda mühendise sunar. Bu yöntem, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için son derece faydalıdır ve bize, olası bir deprem anında binanın mevcut durumdaki davranışı ile güçlendirildikten sonraki davranışı hakkında net bir fikir verir. Tablo 3.1.'de doğrusal olmayan analiz yöntemleri özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Analitik işlemlerin algoritması



### 3.2. Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Performansa dayalı tasarım işlemlerinin iki önemli kavramı talep ve kapasitedir. Tüm işlemler bu iki kavrama dayanarak yapılır. Talep, yer hareketinin bir göstergesidir. Kapasite ise, yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğini ifade eder. Bu durumda performans, kapasitenin talebe cevap verebilmesi ile ölçülür. Başka bir deyişle performans, söz konusu yapının olası bir depremin açabileceği hasarları, depremin etkilerini kendi bünyesinde söndürerek engelleyebilecek bir kapasiteye sahip olması gerektiği şeklinde açıklanabilir. Bu sebepten dolayı yapının performans seviyesi, tasarım amaçları ile uyumlu olmalıdır.

Kapasite Spektrum Yöntemi gibi bir statik-itme (pushover) yöntemini kullanarak basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz işlemini yapabilmemiz için öncelikle aşağıda açıklanan üç şeye ihtiyaç vardır: Kapasite, Talep ve performans. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- Kapasite: Yapının tüm kapasitesi, taşıma gücüne ve yapı bileşenlerinin deformasyon yapabilme kapasitelerine bağlıdır. Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi yapının genel kapasitesi, ayrı ayrı onu oluşturan elemanların kapasitesine bağlıdır. Elastik sınıra kadar olan bölümdeki deformasyon yapabilme kapasitesi lineer analiz yöntemleri ile hesaplanabilir fakat elastik sınırın ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesini belirlemek için pushover gibi lineer olmayan analizlerden bazılarını kullanmak gerekir. Bu analiz yönteminde yapıyı teşkil eden bileşenlerin akma sınırına ulaşması için sisteme giderek artan yatay yük uygulanır. Bu işleme, yapı labil hale gelene kadar veya önceden belirlenmiş olan sınır duruma erişene kadar devam edilir.

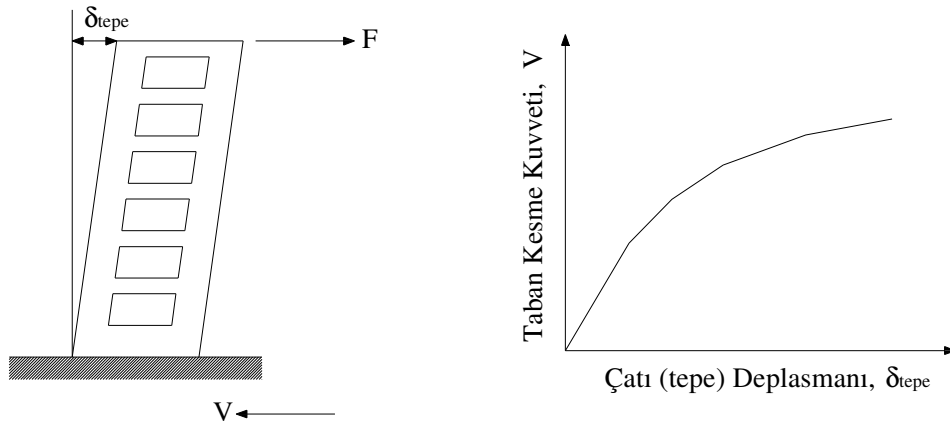
İki ve üç boyutlu sistemlerin lineer olmayan davranışları ile bunlara ait kapasite eğrileri bilgisayar programları sayesinde kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Statik itme analiz (pushover) sonucu elde edilen kapasite eğrisi, lineer ötesi davranış için gerçekçi sonuçlar sunsa da oldukça yaklaşık bir yöntem olduğu unutulmamalıdır.

- Talep (Karşılık Deplasmanları): Deprem esnasında, yer hareketi zamana bağlı olarak sürekli yön değiştirir. Bu yön değiştirmeler sebebiyle, depreme maruz kalan bir yapıda karışık yatay deplasman durumları ortaya çıkar. Yapısal projelendirme gereksinimlerini belirlemek için, her zaman aralığında bu yer hareketini izlemek (Time History Analizi) pratik olmayan bir hesap yöntemidir. Söz konusu yapı ve yer hareketi için karşılık deplasmanı, yer hareketi boyunca binada meydana gelmesi beklenen maksimum deplasmandır.

- Performans: Kapasite eğrisi ile talep spektrumunu belirledikten sonra bunların çakışıkları noktayı bulmak suretiyle performans kontrolü yapılabilir. Performans kontrolü, sistemdeki yapısal ve yapısal olmayan elemanların, yapı için öngörülen performans seviyesinin kabul edilebilirlik sınırlarının ötesinde hasar görmemelerini sağlamak amacıyla yapılır [2].

### 3.2.1. Kapasite eğrisini belirlemek için adım adım işlemler

Yapının kapasitesi pushover eğrisi ile ifade edilir. Bir yapının kapasitesinin belirlemede yani performansa dayalı analizde ilk adım olarak, yapının kapasite eğrileri elde edilir. Kapasite diyagramları; belirli bir yapının sıfır konumundan karasız hale gelinceye kadar geçen süre içerisinde yapıya artırılarak uygulanan yük etkisi altında taban kesme kuvvetlerine karşılık gelen çatı deplasman değerlerinin bir etkileşim diyagramı üzerinde kesişen noktaların geometrik olarak birleştirilmesiyle elde edilen diyagramlardır.



Şekil 3.1. Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki

Yapının kapasitesi bu diyagramlarla ifade edilir. Bu diyagramlara (eğrilere) pushover eğrisi de denilmektedir. Bu eğrileri belirlemek için yapılan analiz ise Pushover analizidir [2].

SAP 2000, PRAIN-2DX ve STA4-CAD gibi bazı lineer olmayan hesap yazılımları statik-itme analizini iterasyona gerek duymadan doğrudan yapabilmektedir. Pushover eğrisini oluşturmak için ETABS, SAP 90, RISA gibi programlar da kullanılabilir. Eğer bu programlar kullanılmayacaksa aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır.

Pushover eğrisi çizilirken, genellikle yapının birinci (fundamental) doğal titreşim modu esas alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay deplasman göz önünde tutulur. Bu durum genellikle doğal titreşim periyodu bir saniye ya da daha az olan yapılar için geçerlidir. Çünkü bu tür yapılarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler ihmal edilebilir. Ancak, çok katlı ve daha sünek yapılarda, birinci moda ait doğal titreşim periyodu bir saniyeden daha fazladır ve yüksek modların yapıya olan etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür, dolayısıyla bu durumda hesap yapılırken daha yüksek modların etkisi de göz önüne alınmalıdır [2].

Kapasite hesabı yapılırken aşağıdaki işlem sırası takip edilmelidir:

1. Adım: Her kata ait yatay kuvvetler, birinci mod şekline uygun olarak kat kütlelerinin toplandığı kabul edilen kütle merkezlerine uygulanır. Bu analiz, aynı zamanda zati ağırlığı da içermelidir. Aşağıda değişik yapılar için yatay kuvvetlerin uygulama noktalarına ilişkin olarak beş farklı durum örneklenmiştir.

- a) Yatay kuvvetin, yapının en üstüne uygulandığı tek katlı basit yapılar.
- b) Yatay kuvvetin, her bir kata Deprem Yönetmeliğinin öngördüğü şekilde eşdeğer statik yatay yük olarak kat ağırlıkları oranında uygulandığı yapılar.



c) Yatay kuvvetlerin, yapının birinci mod şekline uygun olarak, kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine uygulandığı yapılar. Kapasite eğrisi birinci mod şekline göre yapılan yüklemeyle elde edilir. Ancak bu durumun, yapının birinci moduna ait doğal titreşim periyodunun bir saniye ya da daha az olduğu durumlarda geçerli sayıldığı unutulmamalıdır. Bu örnek bizim hesabımızda uygulanmıştır.

d) Bu yükleme durumu, ilk mafsall oluşana kadar önceki örnekte bahsedilen yapılar gibidir. Fakat bu örnekte yapıda ilk mafsall oluşuktan sonraki her yük artımının deforme olmuş şekle göre ayarlanması gerekir. Bu örnek zayıf kat olan bir binayı gösterir.

e) Önceki iki örneğe benzer, fakat daha yüksek mod şekillerinin etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Bu işlem yüksek modlar için yapılacak statik-itme analizi ile sağlanır. Bu örnek yüksek veya daha düzensiz binalar için verilmiştir.

2. Adım: Yatay ve düşey yüklerin gerekli kombinasyonlarına göre elemanlardaki kesit tesirleri hesaplanır.

3. Adım: Bazı eleman veya eleman grupları için yatay yük, eleman dayanımının %10'u kadar ilave bir kuvvet olarak ayarlanır. Fakat çoğu yapılar için birinci ve ikinci adımlar yeterlidir.

4. Adım: Oluşan taban kesme kuvvetleri ve çatı deplasmanları kaydedilir. Bunlara ilave olarak eleman kuvvetleri ve dönmelerinin de kaydedilmesi yararlı olur. Çünkü bu değerler performans kontrolü için gerekli olacaktır.

5 Adım: Mafsallaşan elemanlar için, rijitlik sıfır alınarak model tekrar kontrol edilir.

6. Adım: Başka bir eleman (veya eleman grubu) akmaya ulaşana (mafsallaşana) kadar yatay yük artırılmaya devam edilir.

7. Adım: Taban kesme kuvvetine karşılık çatı yer değiştirmesi çok fazla artış gösterse de yatay yükün artışına devam edilir.

8. Adım:  $V-\delta$  etkileri birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzenli olmayan bir duruma gelindiğine yapı elemanları veya eleman grupları tamamıyla göçmeye başlıyor demektir. Bu durumda yapı düşey yük taşıma kapasitesini de kaybediyor anlamındadır. Bu nokta, statik-itme analizinin son noktasıdır. Mühendisler bu noktadan sonra da yüklemeye devam ederek, perdeli yapılar gibi özel yapılarda perde davranışı ve yapı yıkılımı hakkında görsel bilgi edinebilirler [2].

### 3.2.2. Talep (Deprem) spektrumu belirlemek için adım adım işlemler

Talep spektrumu, belirli bir yapının deprem hareketine, deprem süresince verdiği maksimum karşılığı göstermektedir. Talep spektrumunda; eğer bina tamamen elastik yapılsaydı inelastik deplasman elastik deplasmana eşit olurdu yaklaşımı kullanılır.

Bir proje çalışmasında kullanılacak performans amaçlarının tespit edilmesi ne kadar önemli ise, belirli bir deprem için muhtemel maksimum yer değiştirmenin saptanması da o kadar önemlidir. Bu talep yer değiştirmelerini belirlemek için, Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılacaktır. Çünkü bu yöntem, güçlendirme çalışmalarında kolaylık sağlar ve kapasite eğrisinin etkili bir şekilde kullanılabilmesini sağlar.

Kapasite Spektrumu Yönteminde depremin talep deplasmanı, kapasite spektrumu üzerinde “Performans Noktası” diye adlandırılan bir noktada oluşur. Sözü edilen performans noktası; yapının sismik kapasitesini, diğer bir deyişle belirli bir deprem etkisi altında kalan yapının bu etkiye karşı göstereceği direnci (karşılığı) ifade eder [2].

### 3.2.3. Kapasite spektrum yöntemi

Kapasite Spektrum Yöntemi, belirli bir deprem hareketi için yapıya yüklenen yer değiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır.

Deprem yükleri altında, yapıda elastik olmayan deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar yapının sönümünü artırmakta, dolayısıyla da deprem talebini azaltmaktadır. Kapasite Spektrumu Yönteminde, yapıda meydana gelen elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenmekte ve ardışık bir yaklaşım yolu takip edilerek yapıya ait performans noktası belirlenmeye çalışılmaktadır. Performans noktası belirlendikten sonra, yapı bu noktaya kadar statik olarak itilerek kendisinden istenen performans hedefini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

### **3.2.4. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması**

Performans noktasının belirlenmesi için pek çok metot mevcuttur ancak en yaygın olarak kullanılanlardan biri olan Kapasite Spektrum Yöntemi anlatılacaktır.

Performans noktasının yeri aşağıdaki iki temel koşulu sağlamalıdır:

- 1) Bulunan performans noktası, yapının kapasite eğrisi üzerinde yer almalıdır.
- 2) Söz konusu performans noktası, %5 sönümlü elastik talep spektrumundan indirgenmiş talep spektrumunun üzerinde olmalıdır.

Kısacası performans noktası; bu iki koşulu aynı anda sağlayacak olan, yani kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktadır. Aşağıda bu iteratif işlemi kolaylaştırmak için üç ayrı prosedür ve yöntemin kavramsal ifadesi bulunmaktadır. Temel itibarıyla aşağıdaki üç prosedür de aynı amaca hizmet etmektedir. Fakat bunların matematik ifadeleri bazı farklılıklar gösterir [2].

#### **3.2.4.1. Kapasite spektrum yönteminin kavramsal ifadesi**

Bu bölüm kapasite spektrum yönteminin teorik temellerini, gerekli formülasyonları ve bir takım hesapları içerir. Bu bölümde adım adım performans noktasının bulunması anlatılmamıştır.

- Prosedür A: Bu yöntem, kavramın en doğrudan uygulamasıdır. Bu yöntem tamamıyla iterasyona dayalıdır; fakat gerekli formülasyon yapıldığı takdirde bu işlemler bilgisayar ortamına aktarılarak kolaylıkla çözüme ulaşabilir. Bu, grafik olmaktan ziyade analitik bir yöntemdir. Yeni başlayanlar için en ideal ve anlaşılır yöntem olup sonuca en kısa yoldan varmak mümkündür.

- Prosedür B: Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesine imkan sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek yeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. Prosedür B 'de analitik (işlemsel) bir yöntemdir; dolayısıyla gerekli formülasyonlarla bilgisayar ortamına adapte edilmesi en uygun olanıdır. Bu yöntemin uygulanması, prosedür A 'nın uygulanmasından daha az anlaşılır olabilir.

- Prosedür C: Bu, performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik yöntemidir. Elle analiz yapmak için en uygun olanıdır. Buna rağmen anlaşılması zor ve bilgisayar ortamına tam olarak adapte edilmesi mümkün değildir [2].

Tablo 3.2. Performans hesabı için yöntem seçim tablosu

PROSEDÜR	AÇIKLAMA
A	En açık, anlaşılır metodolojinin en direkt uygulamasıdır.
	Analitik bir metoddur.
	Programlama için uygundur.
	Yeni başlayanlar için en uygun olanıdır.
	Direkt sonuca gider ve anlaşılması kolaydır.
B	Analitik bir metoddur.
	Basitleştirme kabulleri dolayısıyla prosedür A 'dan daha basittir.
	Bilgisayar programlaması için en uygun olanıdır.
C	Grafik bir metoddur.
	El analizi için en uygun olanıdır.
	Bilgisayar programları için uygun değildir.

### 3.2.4.2. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite Spektrum Yönteminin kullanılabilmesi için, taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı cinsinden verilen kapasite eğrisinin, Spektral İvme-Spektral Deplasman (ADRS) formatına dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen eğriye “Kapasite Spektrum Eğrisi” denir ve bu eğri ADRS (Acceleration Displacement Response Spectra) formatındadır [2]. Söz konusu dönüşümü yapabilmek için gerekli denklemler aşağıda verilmiştir:

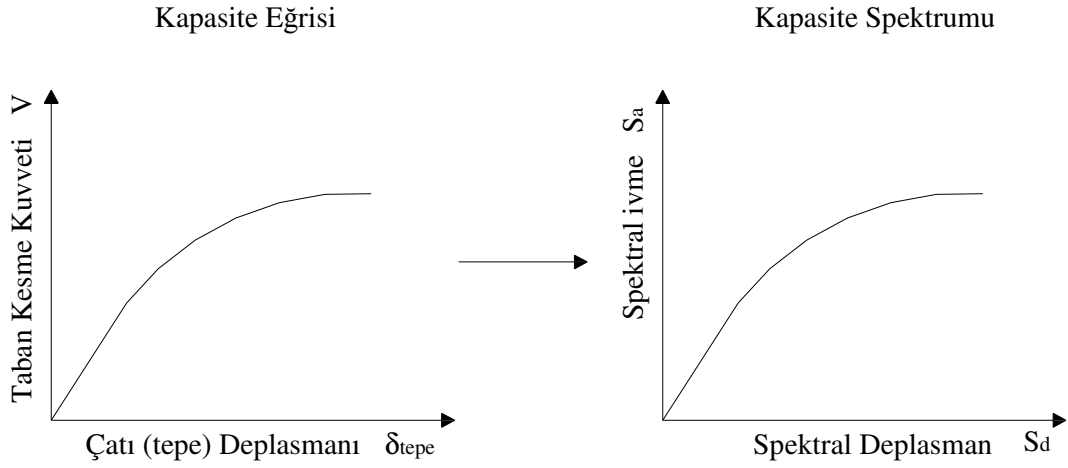
$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (3.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (3.2)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad (3.3)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{\zeta an}}{PF_1 \phi_{1\zeta an}} \quad (3.4)$$

Kapasite eğrisini ADRS formatındaki kapasite spektrumuna dönüştürmek için yapılması gereken temel işlemler şunlardır: ilk olarak denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı  $\alpha_1$  hesaplanır. Daha sonra kapasite eğrisi üzerindeki her bir nokta Denklem (3.3) ve (3.4) kullanılarak  $S_a$  (Spektral İvme) ve  $S_d$ 'lere (Spektral Yer Değiştirmelere) dönüştürülür.



Şekil 3.2. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

### 3.2.4.3. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi

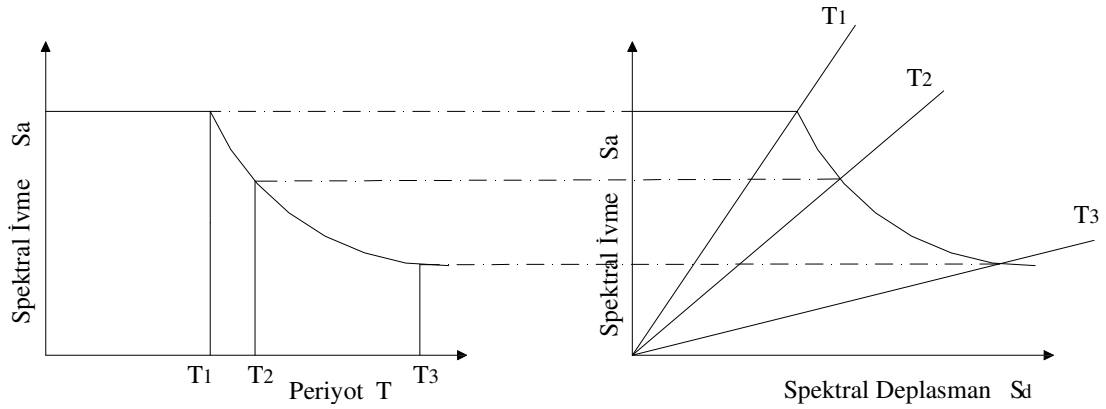
Standart  $S_a$  ve  $T$  formatında verilen talep spektrumunu ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumuna (ADRS) dönüştürmek için eğri üzerindeki her bir noktanın spektral yer değiştirme değerlerini belirlemek gerekmektedir. Bu işlem aşağıda verilen denklemlerle yapılır.

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{ai} \cdot g \quad (3.5)$$

Standart talep tepki spektrumu, sabit spektral bir ivme oranını ve sabit bir ikincil spektral hız oranlarını içermektedir.  $T_i$  periyodundaki spektral ivme ve yer değiştirmeler aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir [2].

$$S_{ai} \cdot g = \frac{2\pi}{T_i} \cdot S_v \quad (3.6)$$

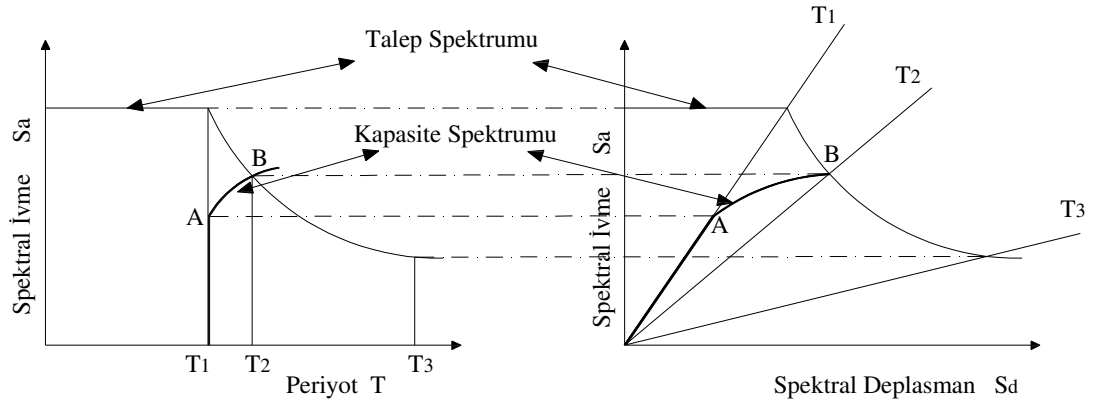
$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} \cdot S_v \quad (3.7)$$



$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} \cdot S_a \cdot T^2$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

Şekil 3.3. Geleneksel talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi [2]



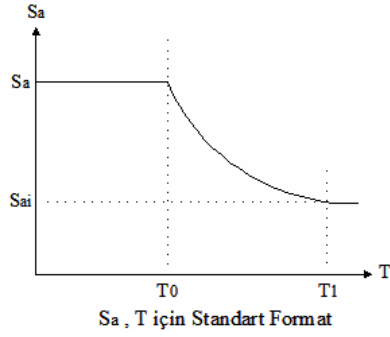
Şekil 3.4. Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi kapasite spektrumu,  $T_1$  periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaşıldığında ise periyot  $T_2$ ’dir. Bu durum, yapı elastik olmayan davranış göstermeye başladığı zaman periyodunun arttığını ifade eder. Bu periyot artışları, hem geleneksel spektrum üzerinden hem de ADRS formatlı spektrum üzerinden açıkça gözlemlenebilmektedir.



## ADRS SPEKTRUMUNA DÖNÜŞTÜRME

### Talep Spektrumuna Dönüştürme

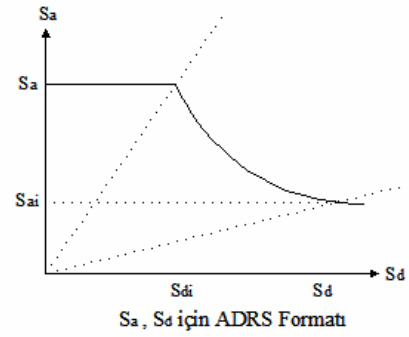


Talep spektrumu üzerindeki her nokta  $S_a$ ,  $S_v$ ,  $S_d$  ve  $T$  değerlerini içermektedir. Standart  $S_d$  ve  $T$  formatındaki spektrumu ADRS formatına çevirmek için  $S_{di}$  değerlerini belirlemek gerekir. Bu da aşağıdaki formülle yapılır:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{ai} \cdot g$$

Standart talep spektrumunda, spektral ivme değerleri için bir sınır vardır.  $T_i$  periyodundaki spektral ivme ve hız değerleri aşağıdaki formüllerle bulunur:

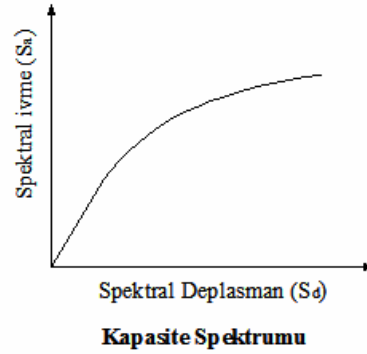
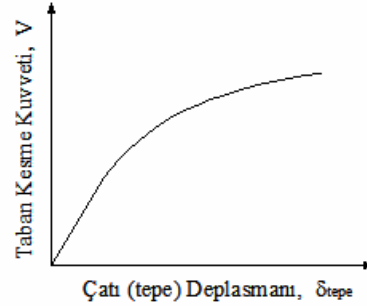
$$S_{ai} \cdot g = \frac{2\pi}{T_i} \cdot S_v \quad , \quad S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} \cdot S_v$$



### Kapasite spektrumuna dönüştürme

Kapasite (pushover) eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için birinci mod spektral koordinatlarının noktadan noktaya dönüşümünün yapılması gerekir. Kapasite eğrisi üzerindeki her bir  $V_i$ ,  $\delta_{tepe}$  noktası, bunlara karşılık gelen  $S_{ai}$ ,  $S_{di}$  kapasite noktalarına aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çevrilir:

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad , \quad S_{di} = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \phi_{1\text{çatı}}}$$

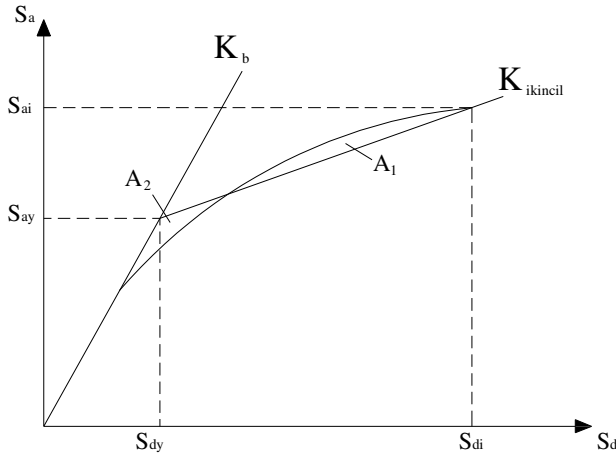


Şekil 3.5. ADRS spektrumuna dönüştürme

### 3.2.4.4. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi

Kapasite Spektrum Yöntemi'nde diğer bir aşama, kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile kırıklı hale getirilmesidir. Kırıklı hale getirme işlemi, spektral talebin uygun şekilde azaltılması ve efektif sönüm değerinin belirlenebilmesi için gereklidir.

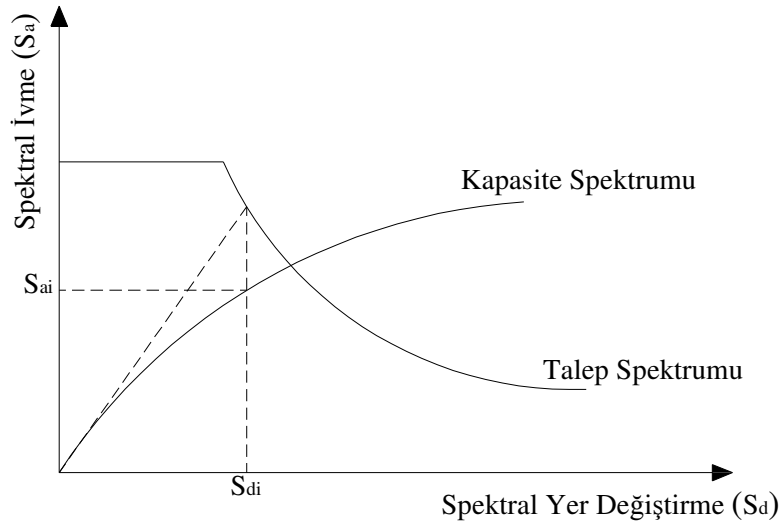
Deprem yükleri altında, yapı sistemi elastik olmayan deformasyonlar nedeni ile rijitlik kaybetmekte ve bunun sonucu olarak yapının periyodu ve sönümü artmaktadır. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi ile sistemin efektif sönüm ve efektif periyodu belirlenebilmektedir.



Şekil 3.6. Kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi [2]

İndirgenmiş talep spektrumunun tahmin edilmesi için  $S_{ai}$  ve  $S_{di}$  değerlerinin belirlenmesi gerekir. Koordinatları  $S_{ai}$  ve  $S_{di}$  olarak bulunan nokta, başlangıç performans noktası olarak adlandırılır. Bu noktanın tahmini için, öncelikle göz önüne alınan deprem bölgesine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrumu ve kapasite spektrumu Şekil 3.7'de görüldüğü gibi üst üste çizilir. Kapasite eğrisinin lineer kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite eğrisi üzerindeki düşey izdüşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları olan  $S_{ai}$  ve  $S_{di}$  bulunur. Bu nokta belirlenirken, yapının bu noktada gerek elastik, gerekse plastik davranışında aynı deplasmanı yapacağı kabul edilmiştir [2].

$S_{ai}$  ve  $S_{di}$  koordinatları belirlendikten sonra, Şekil 3.6'de gösterildiği gibi bulunan başlangıç performans noktasından geriye doğru kapasite spektrumunun üzerinde kalan  $A_1$  alanı ile bu eğrinin altında kalan  $A_2$  alanı eşit olacak şekilde bir doğru çizilir.  $A_1$  ve  $A_2$  alanlarının eşit olmasındaki amaç, gerçek kapasite eğrisi ile yapılan kırıklı temsili aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır. Yani, temsili daha gerçekçi kılmak için doğru çizilirken,  $A_1$  ve  $A_2$  alanları mümkün olduğunca eşitlenmeye çalışılmalıdır. Böylece kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi elde edilmiş olur. Buradaki  $S_{ay}$  ve  $S_{dy}$  doğrusal elastik davranış sınırındaki,  $S_{ai}$  ve  $S_{di}$  ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral ivme ve yer değiştirme değerleridir [2].



Şekil 3.7. Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun birlikte gösterimi

### 3.2.4.5. %5 Sönümlü elastik talep spektrum eğrisinin oluşturulması

Deprem etkisinin tanımlanması için  $C_A$  ve  $C_V$  gibi sismik katsayılarla bağlı olarak %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi oluşturulur. Bu sismik katsayılardan  $C_A$  katsayısı, zeminin etkili maksimum ivme katsayısını temsil eder.  $C_V$  katsayısı ise, periyodu 1 sn olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini verir.

$C_A$  ve  $C_V$  değerleri bulunması sırasında oluşturulan tablolar, sert zeminler için oluşturulmuştur. Ancak yumuşak zeminlere göre hesap yapıldığı takdirde, deprem etkisi büyük olan zeminlerde  $C_A$  değeri 1.1, küçük etki olan zeminlerde 1.0 katsayısıyla çarpılır.  $C_V$  değeri ise etkinin büyük olduğu zeminlerde 1.5, etkinin küçük olduğu zeminlerde 3.0 ile çarpılabilir.  $C_A$  ve  $C_V$  katsayıları; yapının bulunduğu deprem bölgesine, deprem kaynağına olan mesafeye, hesaplamalarda kullanılacak olan deprem türüne ve yapının bulunduğu zeminin sınıfına bağlı olarak hesaplanır. Yapının bulunduğu deprem bölgesine göre deprem bölge katsayısı Z Tablo 3.3'den alınır.

Tablo 3.3. Deprem bölge katsayısı

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z ( $A_0$ )	0,0075	0,15	0,20	0,30	0,40

ATC-40'da belirtilen bu numaralandırma büyükten küçüğe sıralandırılır. TDY'deki 1. bölge, ATC-40'da 4. bölge olarak ifade edilir. Ayrıca ATC-40'daki iki ayrı durum olarak ifade edilen 2. bölge TDY'nin 3. bölgesine tekabül eder [9].

Kaynağa mesafe katsayıları olan  $N_A$  ve  $N_V$ , yapının deprem kaynağına olan mesafesine ve bu deprem kaynağının oluşturacağı deprem türüne bağlı olarak Tablo 3.4'den okunur.

Tablo 3.4. Kaynağa mesafe katsayısı

Deprem Kaynağı Türü	Bilinen deprem kaynağına olan mesafe							
	$\leq 2$ km		5 km		10 km		$\geq 15$ km	
	$N_A$	$N_V$	$N_A$	$N_V$	$N_A$	$N_V$	$N_A$	$N_V$
A: Büyük bir deprem oluşturacak kaynak	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B: Orta deprem oluşturacak kaynak	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C: Küçük deprem oluşturacak kaynak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Yapının bulunduğu zeminin türüne göre Tablo 3.5'den zemin sınıfı belirlenir.

Tablo 3.5. Zemin sınıfı [13]

İlk 30m'deki ortalama zemin özellikleri			
Zemin Sınıfı	Kayma Dalgası Hızı $V_S$ (m/s)	Standart Penetrasyon Deneyi, $N$ (Vuruş/m)	Drenajsız Kayma Mukavemeti $S_U$ (kN/m <sup>2</sup> )
$S_A$ - Sert Kaya	$V_S > 1500$	-----	-----
$S_B$ - Kaya	$750 < V_S \leq 1500$	-----	-----
$S_C$ - Yoğun Toprak ve Yumuşak Kaya	$350 < V_S \leq 750$	$N > 165$	$S_U > 100$
$S_D$ - Sert Toprak	$180 < V_S \leq 350$	$50 \leq N \leq 165$	$50 \leq S_U \leq 100$
$S_E$ - Yumuşak Toprak	$V_S \leq 180$	$N < 50$	$S_U < 50$
$S_F$ - Aşırı plastik kil, yumuşak kil gibi özel değerlendirme gereken zeminler			

Her arazi için, ilgili yönetmelikteki sınıflandırma kullanılarak kendi verilerine uygun bir zemin profili atanır. Eğer zemin hakkında yeteri kadar detaylı veri toplanamıyorsa,  $S_D$  olarak atanır.  $S_E$  ve  $S_F$  tipleri zemin özellikleri bilinmeden atanmaz.

$S_E$  = Yumuşak toprak ve yumuşak kil ( $h > 3m$ ,  $PI > 20$ ,  $w_n > \%40$ )

$S_F$  = Özel değerlendirme gerektiren; bazı sıvılaşabilen yıkılabilir zayıf çimentolu olan organik killler ( $h > 3m$ ), aşırı plastisiteye sahip killler ( $h > 7.5m$ ,  $PI > 75$ )

Hesaplarda kullanılacak deprem etkisinin belirlenmesinde, deprem etkisine bağlı olarak  $C_A$  ve  $C_V$  sismik katsayıları için ayrı ayrı  $E$  değerleri aşağıdaki şekilde bulunur;

- Kullanma depremi için  $E = 0.5$
- Tasarım depremi için  $E = 1.0$
- Maksimum deprem için;
  - > 4. Bölge için  $E = 1.25$
  - > 3. Bölge için  $E = 1.50$

Bulunan deprem katsayısı, kaynağa mesafe katsayısı ve deprem itki katsayısı çarpılarak,  $C_A$  ve  $C_V$  sismik katsayıları için ayrı ayrı Deprem Katsayısı bulunur. Belirlenen zemin sınıfına ve hesaplanan deprem katsayısına bağlı olarak, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'den  $C_A$  ve  $C_V$  sismik katsayıları belirlenir.

Tablo 3.6. Deprem katsayısı,  $C_A$  [2]

	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
$S_A$	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 * ZEN$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 * ZEN$
$S_C$	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	$1.0 * ZEN$
$S_D$	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	$1.1 * ZEN$
$S_E$	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	$0.9 * ZEN$
$S_F$	Yerel zeminin incelenmesi gerekli					

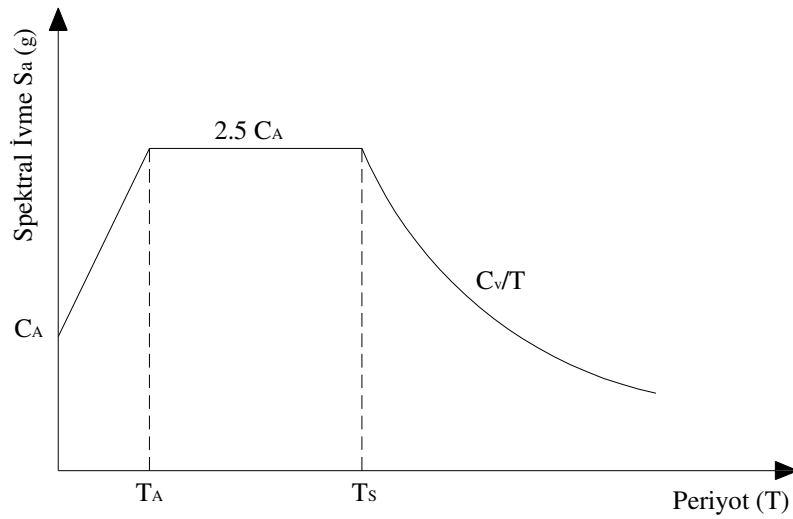
Tablo 3.7. Deprem katsayısı,  $C_V$  [2]

	Deprem katsayısı ZEN					
Zemin sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
$S_A$	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 \cdot ZEN$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 \cdot ZEN$
$S_C$	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	$1.4 \cdot ZEN$
$S_D$	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	$1.6 \cdot ZEN$
$S_E$	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	$2.4 \cdot ZEN$
$S_F$	Yerel zeminin incelenmesi gerekli					

Bulunan  $C_A$  ve  $C_V$  sismik katsayılarına ve Formül 3.8 ,Formül 3.9 yardımıyla bulunan  $T_S$ ,  $T_A$  değerlerine bağlı olarak %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi Şekil 3.8’da gösterildiği gibi çizilir.  $2.5C_A$  da %5 lik sönümlü kısa periyotlu sistemin maksimum ortalama ivmesine karşı gelmektedir.

$$T_S = C_V / 2.5C_A \quad (3.8)$$

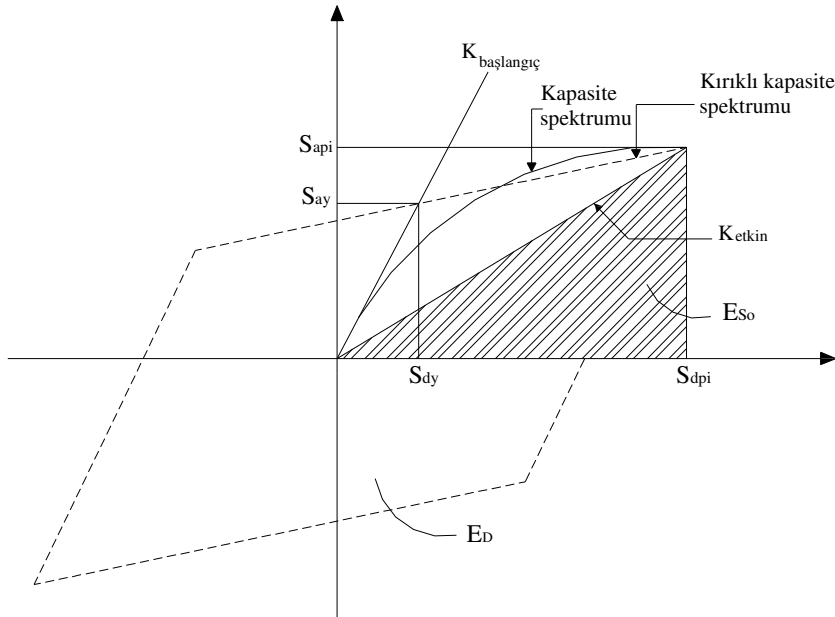
$$T_A = 0.2 \cdot T_S \quad (3.9)$$



Şekil 3.8. %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi [2]

### 3.2.4.6. Etkin sönümün tahmini ve %5 sönümlü elastik talep spektrumunun indirgenmesi

Sönüm, yapıyı elastik olmayan sınıra doğru zorlayan deprem hareketi meydana gelirken oluşur. Yapının viskoz sönümünün ve histerik sönümünün bileşkesidir. Histerik sönüm, deprem anındaki taban kesme kuvveti ve yapı deplasmanının oluşturduğu eğrilerin içinde kalan alanla ilgilidir. Histerik sönüm, eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir [2].



Şekil 3.9. Spektral indirgeme için sönüm ifadesi [2]

Yönetmeliklerde verilen, bu yöntemde öngörülen elastik ivme-yer değiştirme spektrum eğrisi %5'lik bir viskoz sönüm içerir, ancak depremin etkisinde yapıda elastik olmayan ve çevrimsel oluşan şekil değiştirmeler sonucu enerjinin tüketilmesi söz konusudur. Deprem etkisi altında yer değiştirme ile yük arasındaki veya benzer olan spektral yer değiştirme ile spektral ivme arasındaki bağıntı, elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir [9].



Bu, eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm  $\beta_o$  olarak yaklaşık eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülür.  $\beta_o$ 'ın hesaplanabilmesi için  $E_D$  ve  $E_{So}$ 'ın belirlenmesi gerekir.  $E_D$  ve  $E_{So}$ 'da Şekil 3.9'daki geometrik bağıntıları kullanarak hesaplanır. Sonuç olarak toplam etkili sönüm oranı  $\beta_{eff}$ :

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_o + 0.05 \quad (3.10)$$

$$\beta_o = \frac{E_D}{4\pi \cdot E_{So}} \quad (3.11)$$

olarak bulunabilir. Buradaki  $E_D$  bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana ve  $E_{So}$  aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak;

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_o + 0.05 = 0.05 + 0.64\kappa \frac{S_{ay}S_{dpi} - S_{dy}S_{api}}{S_{api}S_{dpi}} \quad (3.12)$$

yazılabilir. Buradaki  $S_{dy}$  ve  $S_{ay}$  doğrusal elastik davranışın sınırındaki,  $S_{dpi}$  ve  $S_{api}$  ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral yer değiştirme ve spektral ivme değerleridir. Bu koordinat değerleri Şekil 3.9'da da açık bir şekilde gösterilmiştir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir  $\kappa$  düzeltme katsayısı öngörülmüştür.

Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı, yapım kalitesi düşük yapılarda, bu katsayı daha küçük alınır. Yeni yapılarda sönüm çevrimi, dolgun bir biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı büyük, eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağı için söz konusu katsayı küçük olacaktır. Bu katsayıyı etkileyen diğer bir faktör de, depremin devam süresidir. Deprem süresinin uzun olması durumunda enerji tüketimi artacağı için, kısa süreli depreme nazaran düzeltme katsayısı  $\kappa$  daha büyük bir değer alacaktır. Bu katsayıya ilişkin değerler, Tablo 3.8'den seçilecek yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.8. Yapı davranış türü

Deprem Süresi	Genel Olarak Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa Süreli	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun Süreli	Tip B	Tip C	Tip C

Tablo 3.9. Sönüm düzeltme katsayısı  $\kappa$ 

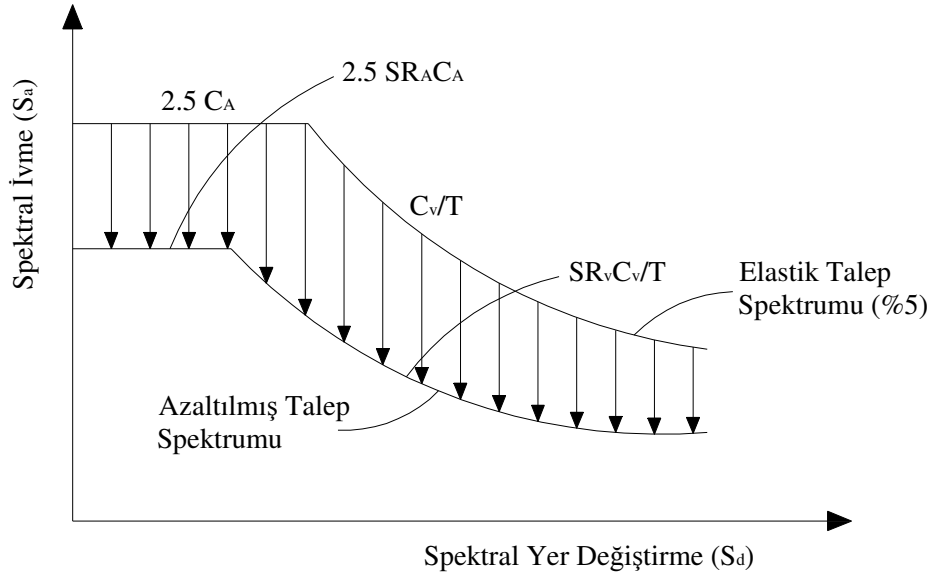
Yapı Davranış Türü	Tip A	Tip B	Tip C
$\kappa$ Katsayısı	1.00	0.67	0.33

Doğrusal olamayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda  $SR_A$  ve  $SR_V$  katsayıları ile azaltma yapılır. Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olup, Tablo 3.10'da verilmiştir. Görüldüğü gibi bu azaltma; sönüm oranı ve yapının yeni olması ile artmaktadır. Bu azaltma katsayıları

$$SR_A = \frac{1}{2,12} [3,21 - 0,68 \ln(100 * \beta_{eff})] \quad (3.13)$$

$$SR_V = \frac{1}{1,65} [2,31 - 0,41 \ln(100 * \beta_{eff})] \quad (3.14)$$

formülleri ile hesaplanabilir, ancak bulunan değerlerin Tablo 3.11'de verilen minimum değerlerden büyük olması gerekir.



Şekil 3.10. %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi [2]

Tablo 3.10. Spektral azaltma katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$  [2]

	Yapı Davranış Türü A			Yapı Davranış Türü B			Yapı Davranış Türü C		
$\beta_o$	$\beta_{eff}$	$SR_A$	$SR_V$	$\beta_{eff}$	$SR_A$	$SR_V$	$\beta_{eff}$	$SR_A$	$SR_V$
0,00	0,05	1,00	1,00	0,05	1,00	1,00	0,05	1,00	1,00
0,05	0,10	0,78	0,83	0,08	0,83	0,87	0,07	0,91	0,93
0,15	0,20	0,55	0,66	0,15	0,64	0,73	0,10	0,78	0,83
0,25	0,28	0,44	0,57	0,22	0,53	0,63	0,13	0,69	0,76
0,35	0,35	0,38	0,52	0,26	0,47	0,59	0,17	0,61	0,70
$\geq 0,45$	0,40	0,33	0,50	0,29	0,44	0,56	0,20	0,56	0,67

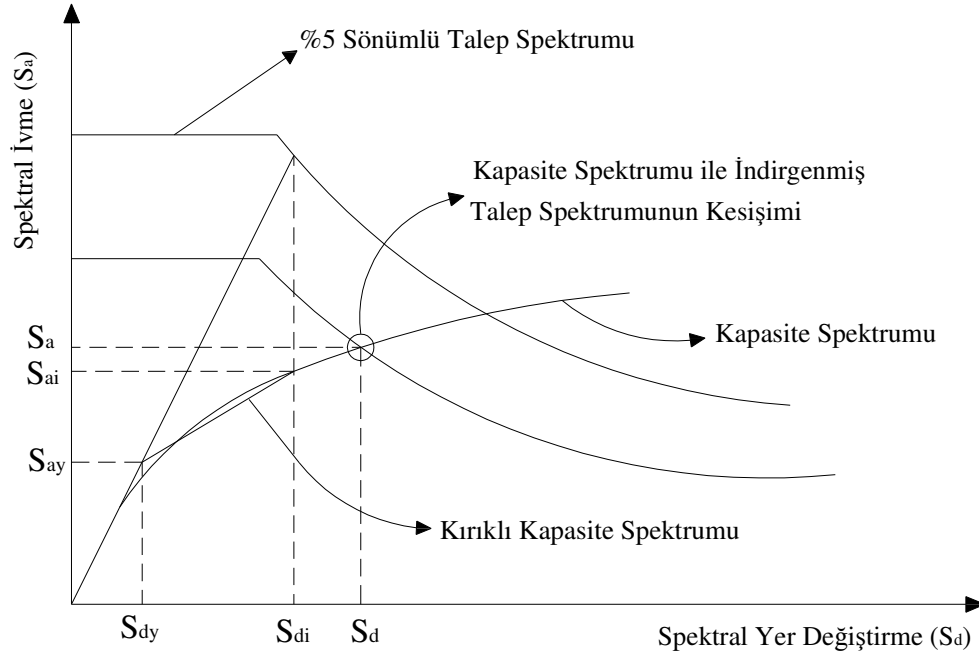
Tablo 3.11. Spektral azaltma katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$ 'nin minimum değerleri [2]

	Yapı Davranış Türü A	Yapı Davranış Türü B	Yapı Davranış Türü C
$SR_A$	0,33	0,44	0,56
$SR_V$	0,50	0,56	0,67

### 3.2.5. Performans noktasının bulunması

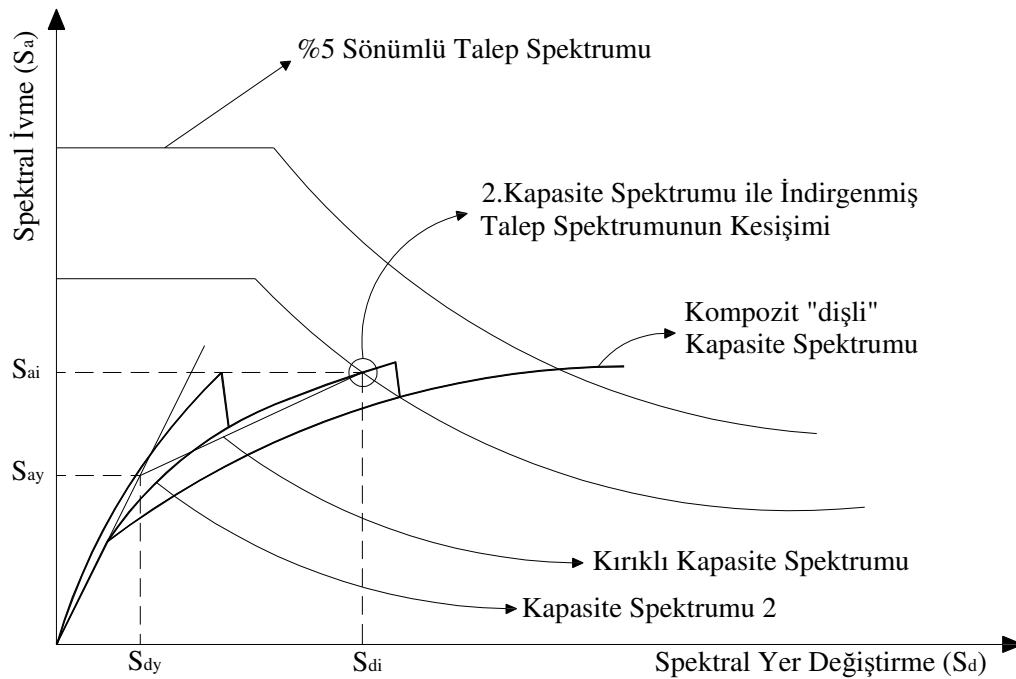
#### 3.2.5.1. Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı olan  $S_d$  spektral deplasmanı, başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan  $S_{di}$  spektral deplasmanından  $\pm 5\%$  kadar farklı ise ( $0,95 S_{di} \leq S_d \leq 1,05 S_{di}$ ) bulunan performans noktası, gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Eğer kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası, kabul edilebilir toleranslar içinde değilse, yeni bir  $S_{ai}$ ,  $S_{di}$  noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Şayet bir önceki iterasyonda bulunan performans noktası, yeni başlangıç performans noktası olarak alınırsa yapılan iterasyonun gerçek performans noktasına yaklaşımı daha hızlı olur. Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yer değiştirmeyi gösterir. Şekil 3.11’de söz konusu noktalar gösterilmiştir [2].



Şekil 3.11. Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası [2]

Eğer kapasite spektrum eğrisi testere dişi şeklinde ise, bileşik kapasite spektrumu farklı birkaç tane kapasite spektrumundan oluşturulmalı ve performans noktasını bulurken özel bir dikkat sarf edilmelidir. Analizin kabul edilebilir olması için iki doğrultuda gösterilen spektrum ile kompozit kapasite spektrumunun kesişme noktalarının aynı olması gerekir. Şekil 3.12’de dişli kapasite spektrumunun oluşumu gösteriliyor [2].

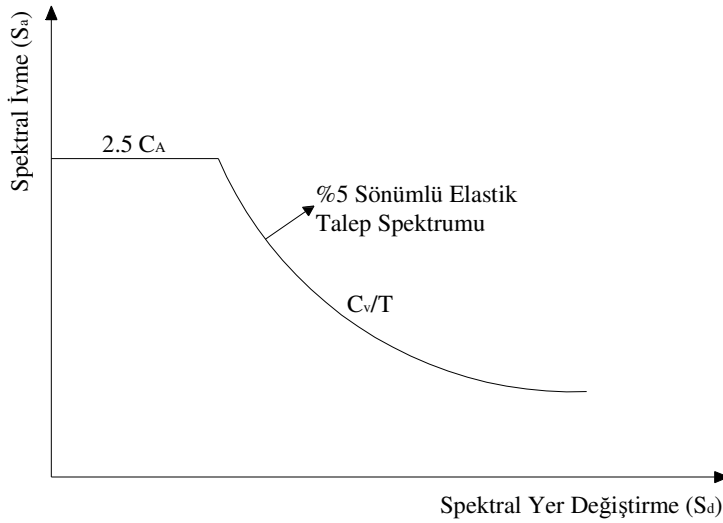


### 3.2.5.2. Prosedür A'yı kullanarak performans noktasının hesaplanması

Performans noktasının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan ve her biri diğerlerinden belli yönleriyle avantajlı olan üç yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemi kullanarak performans noktasını bulmak için, yapılan iterasyonlar elle veya bilgisayarla yapılabilir. Bu yöntem, daha önce bahsedilen prensiplerin en sade şekilde uygulanmasıdır.

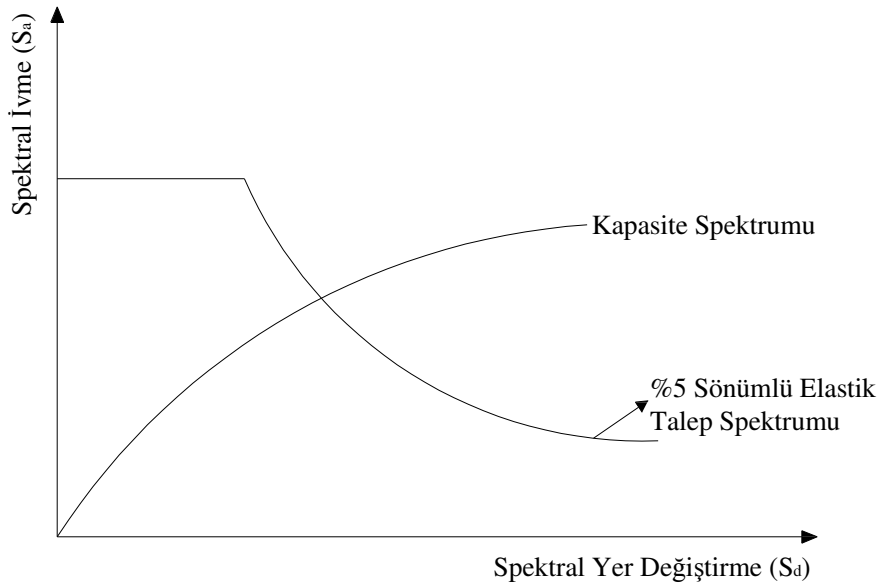
Prosedür A'ya göre performans noktasının belirlenmesindeki işlemler aşağıdaki sırayla yapılır [2]:

1) Performans seviyesinin belirlenmesinde gerekli olan deprem seviyesindeki yer için %5 sönümlü elastik talep spektrumu çizilir.



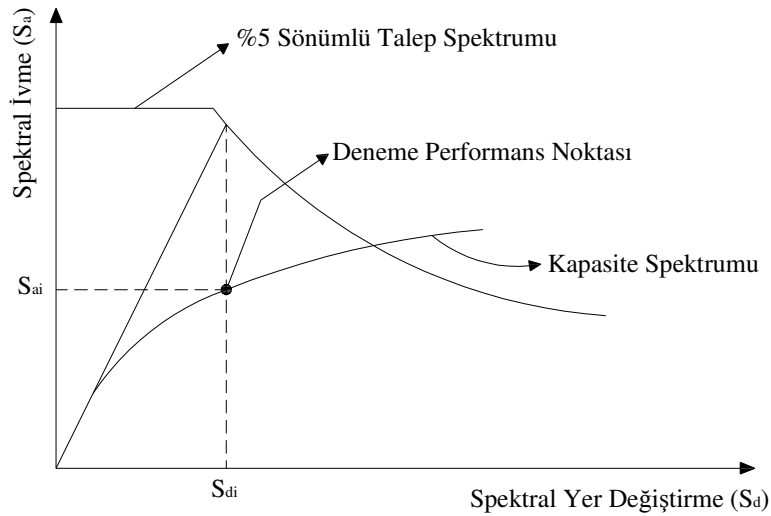
Şekil 3.13. Prosedür A'da 1. adım [2]

2) Kapasite spektrumunun dönüştürülmesi konusundan ve (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) denklemlerinden yararlanarak kapasite eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite spektrumu ile %5 sönümlü talep spektrumu Şekil 3.14'deki gibi aynı grafikte gösterilir.



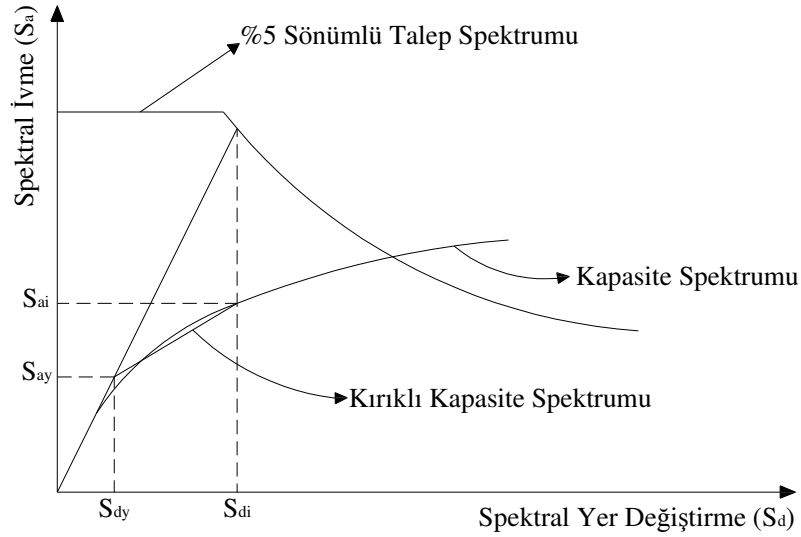
Şekil 3.14. Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi. Prosedür A'da 2. adım [2]

3) Şekil 3.15'de gösterildiği gibi kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak talep spektrumu ile kesiştirilir ve bu kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki düşey izdüşümü bulunur (Yani eşit deplasman yaklaşımı uygulanır). Bulunan bu nokta  $S_{ai}$  ve  $S_{di}$  olan başlangıç performans noktasıdır.



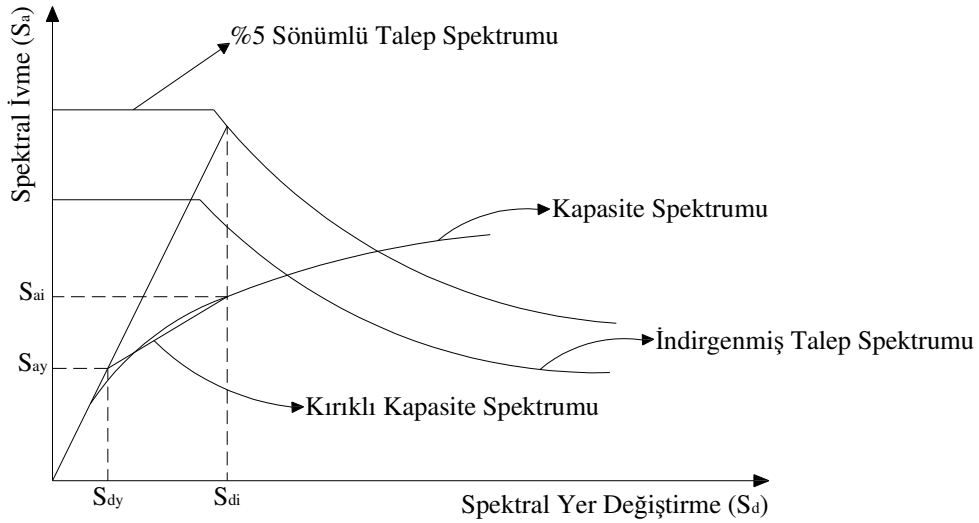
Şekil 3.15. Başlangıç performans noktasının bulunması. Prosedür A'da 3. adım [2]

4) Kapasite spektrumu Şekil 3.16'deki gibi kırıklı hale getirilir.



Şekil 3.16. Kapasite spektrumunun kırıklı hale dönüştürülmesi. Prosedür A'da 4. adım [2]

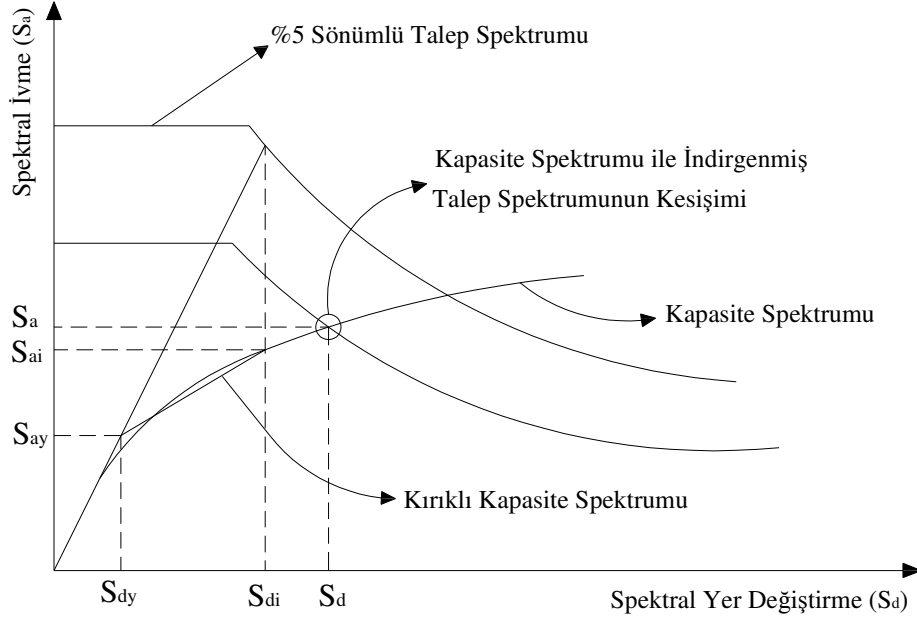
5) Denklem (3.13) ve (3.14) kullanılarak  $SR_A$  ve  $SR_V$  katsayıları hesaplanır. %5 sönümlü karşılık spektrumundan bu indirgeme katsayıları ile indirgenmiş karşılık spektrumuna geçilmektedir. Şekil 3.17'de gösterildiği gibi kapasite spektrumu ile indirgenmiş karşılık spektrumu aynı grafikte çizilir.



Şekil 3.17. İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması. Prosedür A'da 5. adım [2]



6) Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği nokta belirlenir.  $S_{ai}$ ,  $S_{di}$  noktası kesişim noktasına kabul edilebilir yaklaşıklıkla olsa yeterlidir. Yani, indirgenmiş talep spektrumu  $S_{ai}$ ,  $S_{di}$  noktasında kapasite spektrumuyla kesişirse veya kesişme noktası  $S_{di}$ 'nin %5 tolerans sınırları içinde yakınında olursa, bu nokta performans noktasıdır.



Şekil 3.18. İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi. Prosedür A'da 6. adım [2]

7) Eğer bulunan  $S_a$ ,  $S_d$  noktası kabul edilebilir toleranslar içindeyse iterasyona son verilir ve bu nokta performans noktası olarak kabul edilir. Aksi takdirde, 4. adıma geri dönülerek, koordinatları  $S_a$ ,  $S_d$  olarak bulunan nokta, başlangıç performans noktası kabul edilerek diğer adımlar tekrarlanır.

8) Eğer  $S_a$ ,  $S_d$  noktası kabul edilebilir sınırlar içerisinde ise  $S_{ai}$ ,  $S_{di}$  başlangıç performans noktası,  $S_a$ ,  $S_d$  gerçek performans noktası,  $S_d$  ise öngörülen muhtemel deprem için maksimum yapısal deplasman olarak adlandırılır [2].

### 3.2.6. Tahmin edilen maksimum deplasmanda adım adım performans kontrolü

Beklenen performanstaki maksimum deplasman kontrolü, performans noktasındaki  $S_a$ ,  $S_d$  değerleri biliniyorken bu değerler kullanılarak taban kesme kuvveti ( $V_i$ ) ve çatı yer değiştirme ( $\delta_{\text{çatı}}$ ) değerleri (3.3) ve (3.4) denklemleri kullanılarak bulunur.

Performans kontrolünde aşağıdaki adımlar takip edilmelidir;

1. Binanın global yanal yüke karşı global yanıtı için aşağıdakiler sağlanır :

- Yanal yük dayanımı %20 den daha fazla düşürülmemelidir.
- Maksimum yatay ötelemeler aşağıdaki Tablo 3.12 ile sınırlanmalıdır.

Tablo 3.12. Deformasyon limitleri [2]

Kat Öteleme Limitleri	Performans Seviyeleri			
	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Maksimum Toplam Ötelenme	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i / P_i$
Maksimum Plastik Ötelenme	0,005	0,005-0,015	Limitsiz	Limitsiz

2. Binada farklı cins yapılmış elemanlar belirlenip sınıflandırılır. Bunlar kolon- kiriş çerçeveler, plak-kolon çerçeveler, rijit duvarlar, perde çiftleri, düzenli açıklıklı duvarlar, düzensiz açıklıklı duvarlar, diyaframlar ve temeller gibi.

3. Tüm ana ve ikincil taşıyıcıları belirlenir. Bu sınıflandırma 5. aşamadaki deformasyonlar için gereklidir.

4. Kritik elemanları ve durumları kontrol edebilmek için karşılık limitlerini 2. maddede adı geçen her bir eleman için kontrol etmek gerekir.
5. Yapının performans noktasındaki kuvvet ve deformasyon karşılıkları, karşılık limitlerinde verilen kapasitelere eşit veya daha az olmalıdır.
6. Yapısal elemanlar öngörülen performans değerinden daha fazla yatay yük taşınamamalıdır.
7. Yapısal olmayan elemanlarda öngörülen performans seviyesine göre kontrol edilmelidir [2].

Lineer olmayan analizlerde düşey ve yatay yükler doğal olarak kullanılmalıdır. Herhangi bir artım veya azaltma yapılmamalıdır. Yani nonlineer analizler için TS 498' de tanımlanan yapı yüklerini TS 500' deki gibi 1.4, 1.6 gibi artışları yapmadan kullanmamız gerekir.

## **BÖLÜM 4. SAYISAL UYGULAMALAR**

### **4.1. Giriş**

Statik itme analizi (Pushover) hakkındaki teorik bilgiler daha önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde, bu bilgilerin daha iyi anlaşılabilmesi için yapılacak sayısal uygulamada 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilen beş katlı mevcut bir yapı ele alınmıştır. Bu mevcut yapıya aşağıdaki analizler sırasıyla yapılmıştır.

- 1) Yapı mevcut malzeme özellikleri, mevcut kesit ve donatısı ile 1975 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre performans seviyesi incelenmiştir.
- 2) Yapı mevcut malzeme özellikleri, mevcut kesit ve donatısı ile 1998 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre performans seviyesi incelenmiştir.
- 3) Yapı şayet 1998 Türk Deprem Yönetmeliklerinin şart ve gereklerine uygun olarak yeniden yapılması halinde, performans seviyesindeki değişim incelenmiştir.
- 4) Ayrıca yapı mevcut imar durumuna göre iki katlı yapılacak olursa performans seviyesindeki değişim incelenmiştir.
- 5) Yapı 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe göre güçlendirme yapılarak performans seviyesi incelenmiştir.

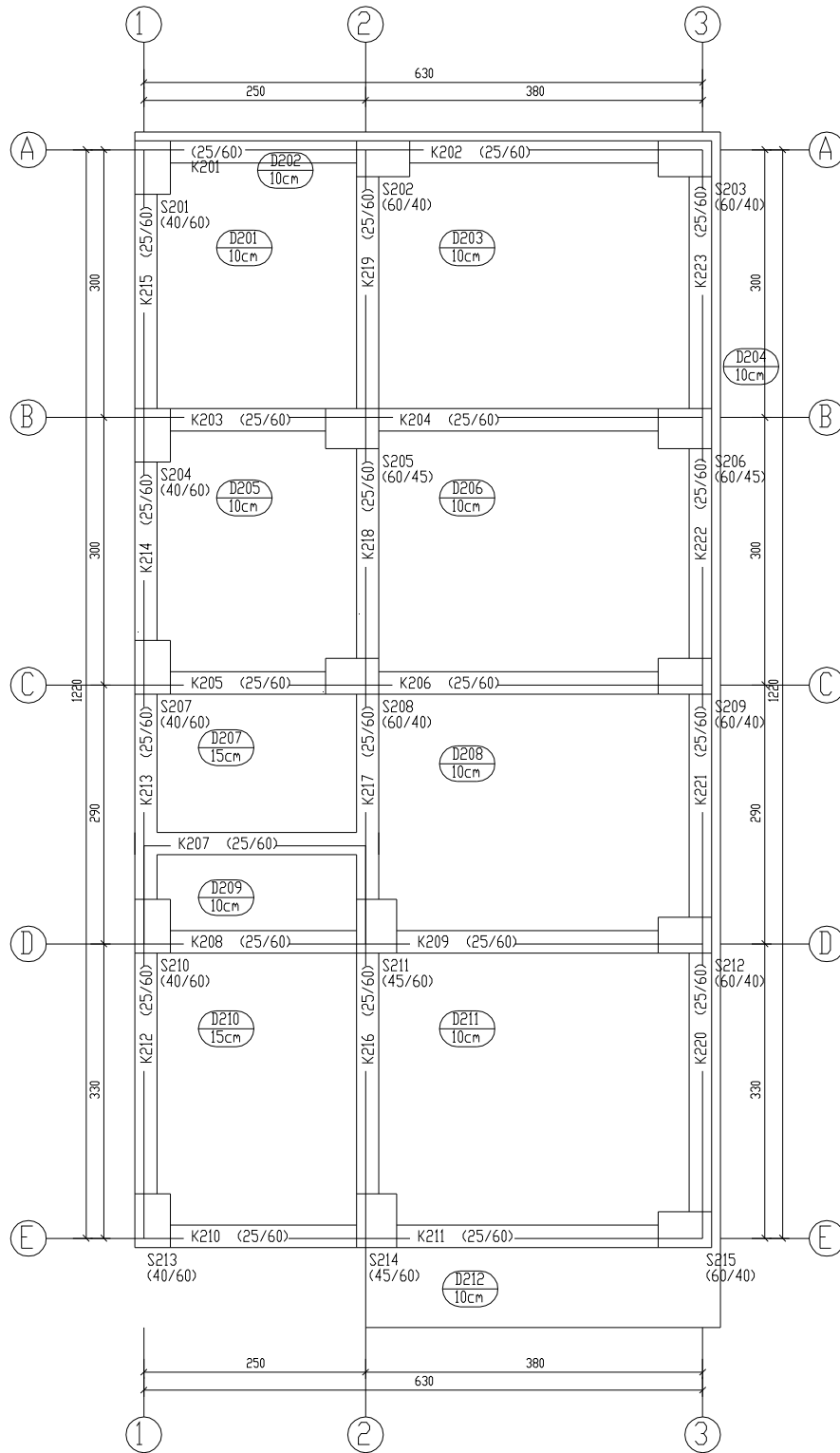
Yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve göçme yükünün tayini için STA4-CAD (versiyon 11) bilgisayar programı kullanılmıştır.

## 4.2. Genel Bilgiler

Mevcut yapının analizinde kullanılan genel bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

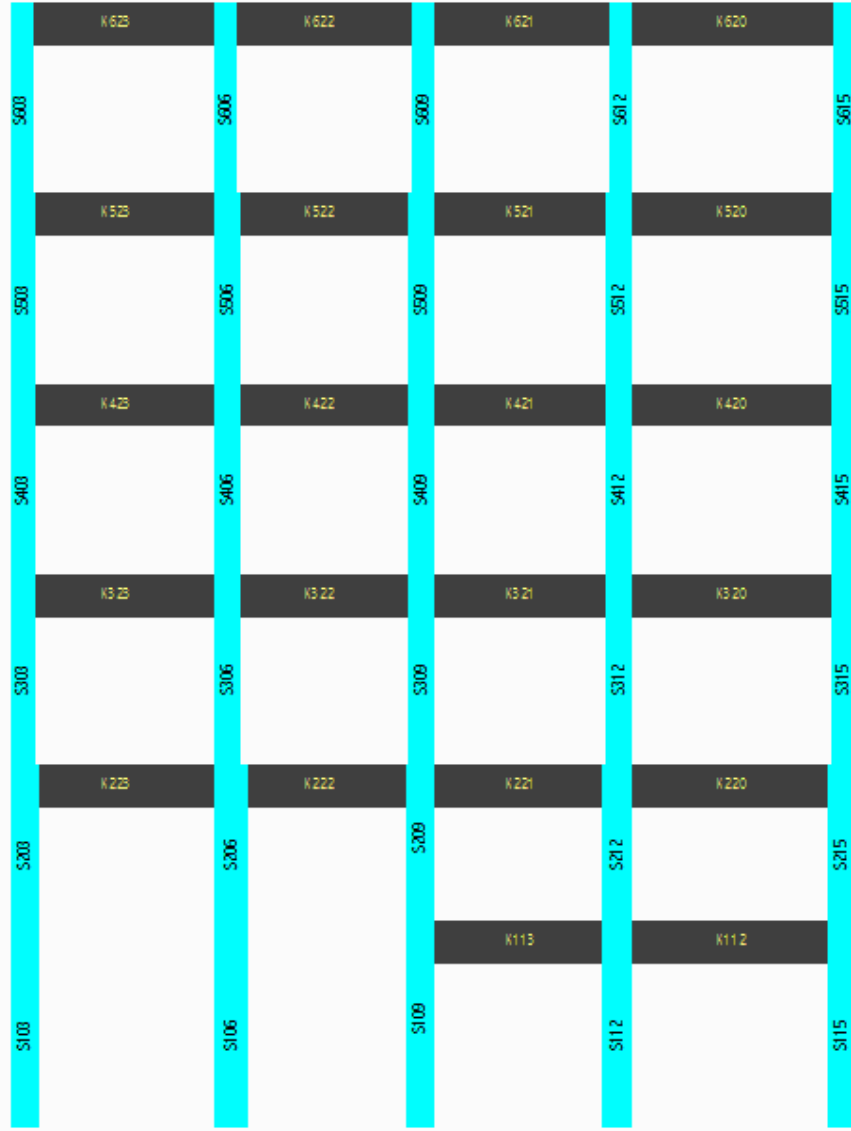
- Yapı kat sayısı = Zemin + 4 Normal kat
- Kat yüksekliği (h) : 4,50m ( zemin kat), 2,80m (normal kat)
- Yapının X doğrultusundaki toplam uzunluğu = 12,40m
- Yapının Y doğrultusundaki toplam uzunluğu = 6,50m
- Deprem bölgesi = 1. Bölge
- Etkin yer ivmesi ( $A_0$ ) = 0.40
- Hesaplarda göz önüne alınacak deprem türü = Tasarım depremi
- Deprem yükü eksantrisitesi = 0.05
- Hareketli yük katılım katsayısı (n) = 0.30
- Bina önem katsayısı (I) = 1.0
- Yerel zemin sınıfı = Z4
- Zemin emniyet gerilmesi =  $9 \text{ t/m}^2$
- Zemin yatak katsayısı =  $2000 \text{ t/m}^2$
- Spektrum karakteristik periyotları :  $T_A = 0.20 \text{ sn}$ ,  $T_B = 0.90 \text{ sn}$
- Mevcut yapı taşıyıcı sistem davranış katsayısı :  $R = 4$
- Güçlendirilmiş yapı taşıyıcı sistem davranış katsayısı :  $R = 8$
- Mevcut yapıda kullanılan beton sınıfı = BS 14
- Güçlendirmede kullanılan beton sınıfı = BS 25
- Mevcut yapıda kullanılan çelik sınıfı = BÇ I
- Güçlendirmede kullanılan çelik sınıfı = BÇ III
- Döşeme türü = Plak
- Döşeme kalınlığı = 0.10m

Yapının tanıtılması açısından yapıya ait kat kalıp planları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Mevcut yapıya ait Zemin kat + Normal kat kalıp planları

Aşağıdaki Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de yapının X ve Y doğrultusundaki kesitleri verilmiştir.



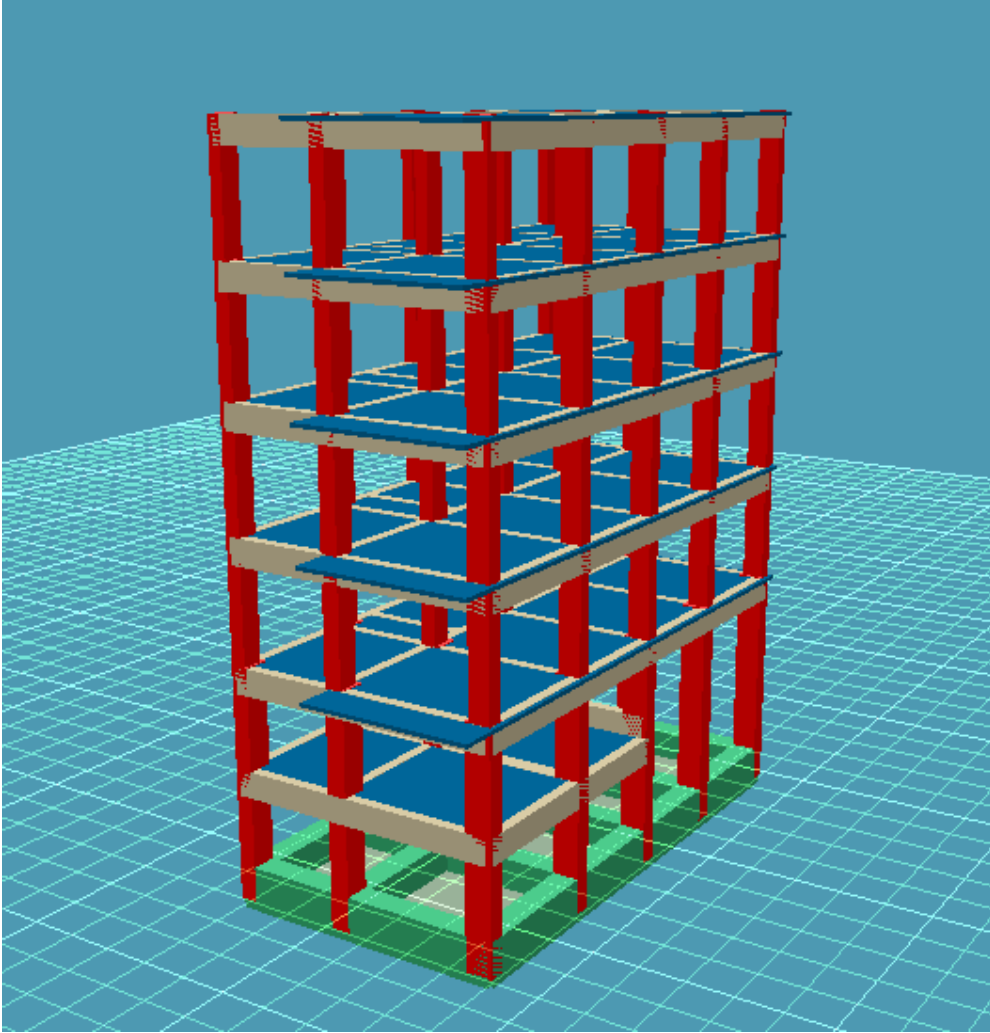
Şekil 4.2. Mevcut yapıya ait Y doğrultusunda, 3 aksı boy kesiti

	K 603	K 604	
S004		S005	S006
	K 503	K 504	
S004		S005	S006
	K 403	K 404	
S404		S405	S406
	K3 03	K3 04	
S304		S305	S306
	K 203	K 204	
S204		S205	S206
S104		S105	S106

Şekil 4.3. Mevcut yapıya ait X doğrultusunda, E aksı boy kesiti



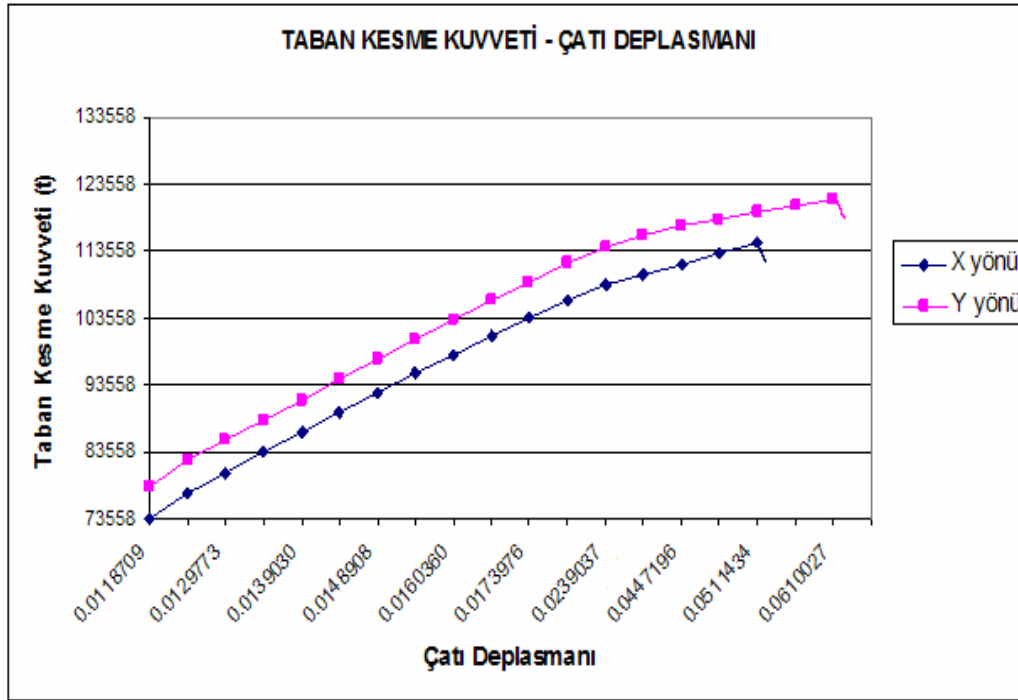
Yapıya ait 3 boyutlu görünüş Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Mevcut yapıya ait 3 boyutlu görünüşü

### 4.3. Sayısal Çözümler

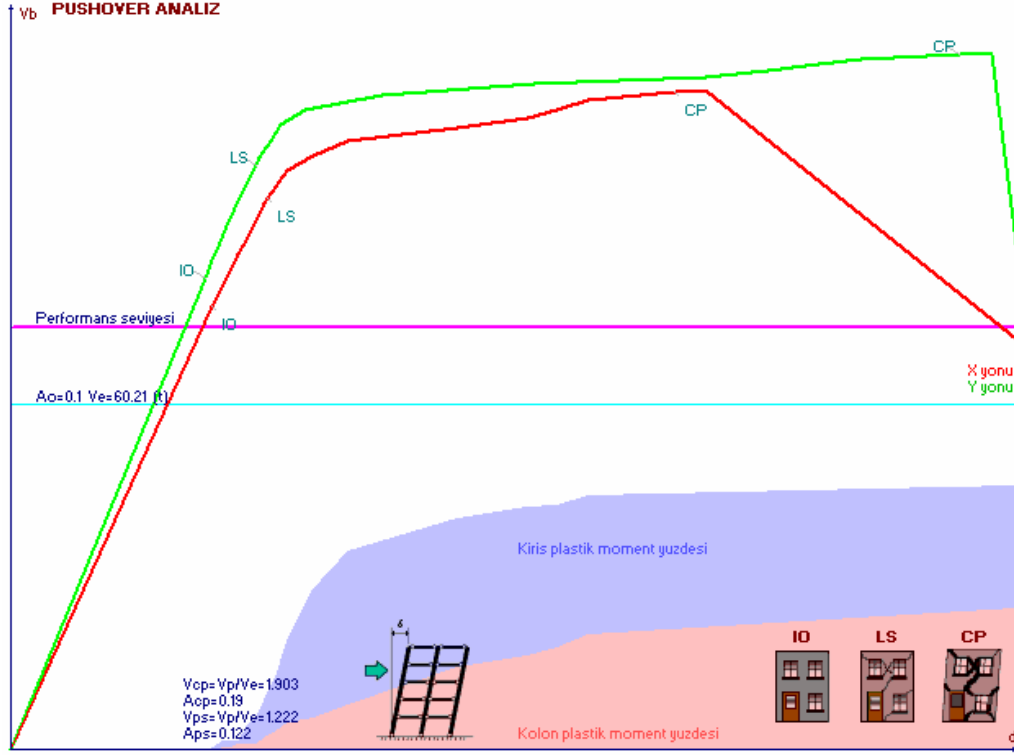
1) Yapı, mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve donatısı ile 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre performans seviyesi, yapının X ve Y yönleri için göçme yükleri ve yapı periyodu bulunmuştur. Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V) ve çatı yer değiştirmesi ( $\delta_{\text{çatı}}$ ) de bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri

Yapının X yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 114,597$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,0427$  m’dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 123,99$  ton’dur. Yapının Y yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 121,250$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,0610$  m dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 125,79$  ton’dur.

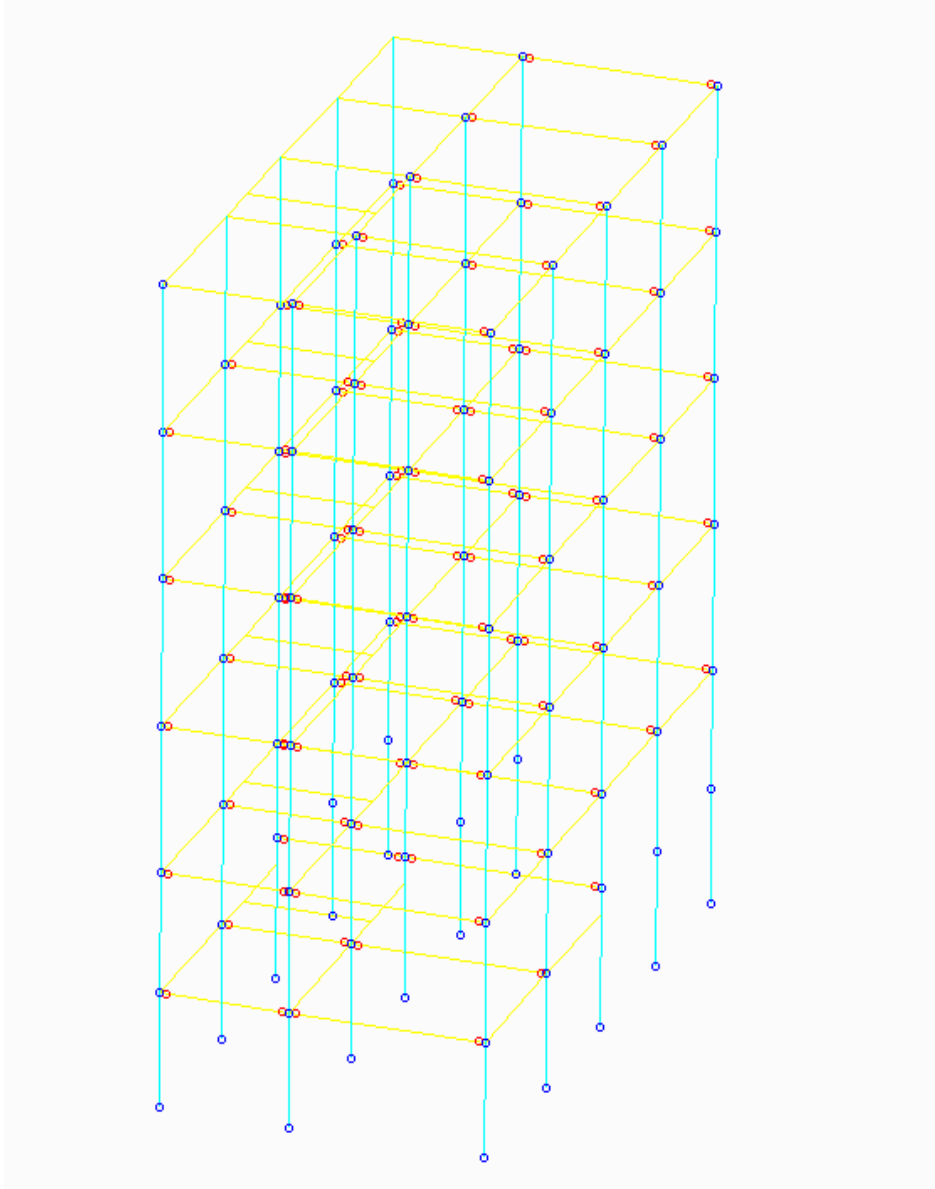
Yapının performans seviyesi (B - IO) hemen kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu yapıda oluşan periyotlar da, X yönünde  $T = 0,511$  s, Y yönünde  $T = 0,480$  s'dir. Yapıya ait performans seviyesi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre performans seviyesi

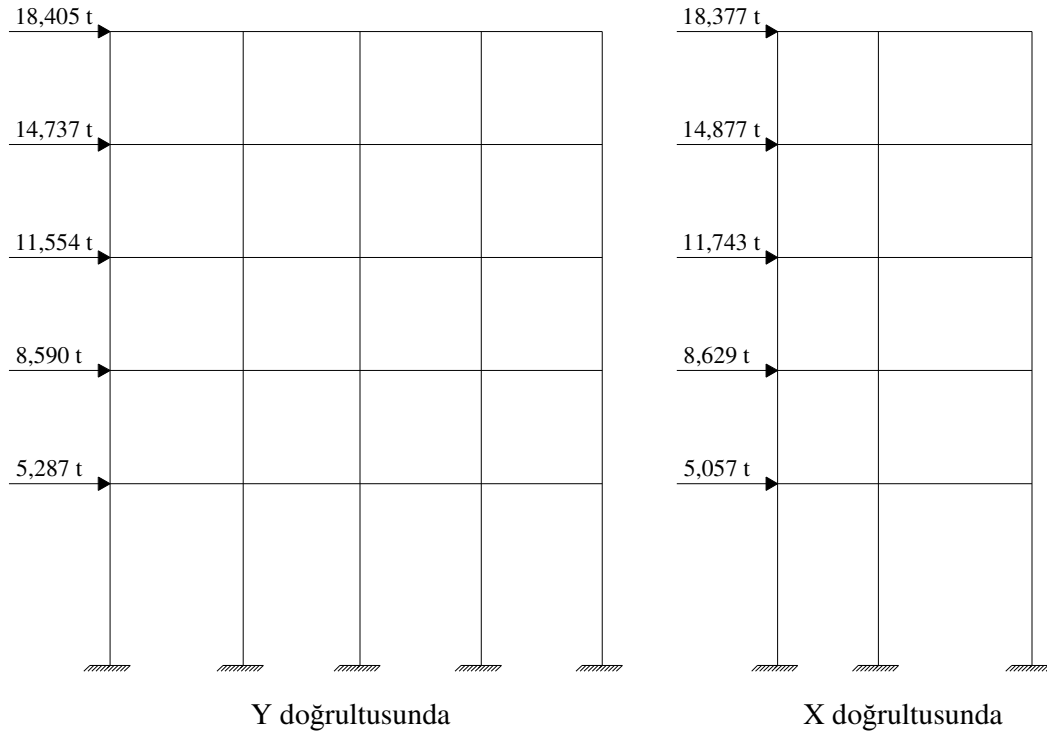
Statik itme analizi sonucunda X yönünde yapıda, 13 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 84 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 41 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Y yönünde ise yapıda 8 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 95 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 28 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Şekil 4.6'daki  $V_e$  değeri, etkin yer ivme katsayısına ( $A_o$ ) karşılık gelen X ya da Y yönündeki toplam deprem kuvvetidir.  $V_{cp}=V_p/V_e$  oranı, nonlinear analiz sonucu göçme noktasına tekabül eden yükün, lineer analiz sonucu kullandığımız deprem yüküne oranını ifade etmektedir. Yani 1. analizde lineer deprem yükünün 1.903 katında göçme meydana gelecektir.  $A_{cp}$  ise bu göçme yüküne tekabül eden etkin yer ivme katsayısını ifade etmektedir.  $V_{ps}$  plastikleşmenin olduğu deprem yükü,  $A_{ps}$  de buna karşılık gelen etkin yer ivmesidir.



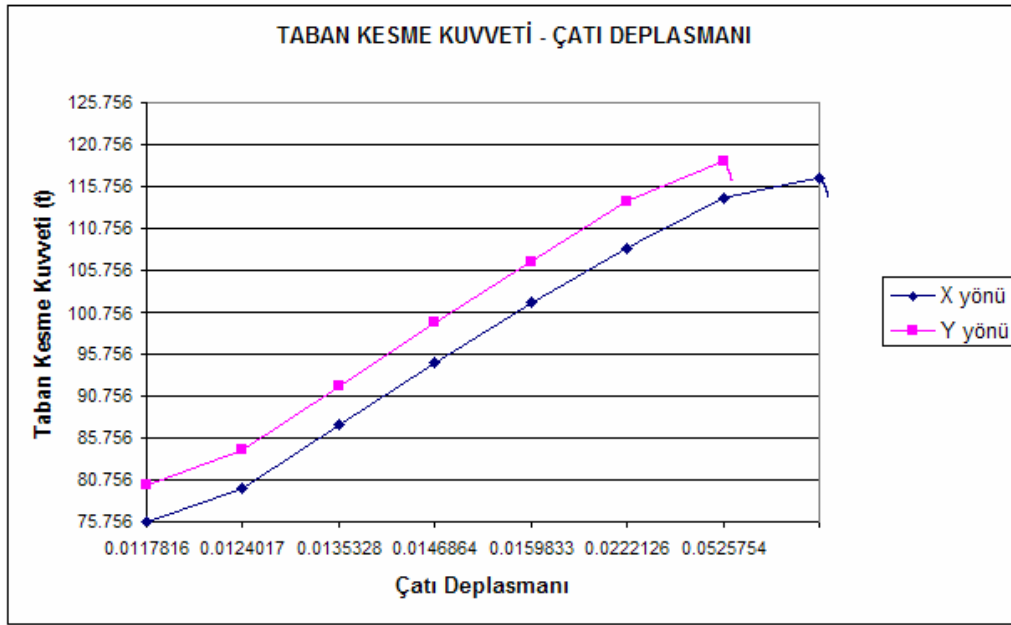
Şekil 4.7. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

Yapıya etkiyen deprem yükleri, X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1975 TDY göre X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri

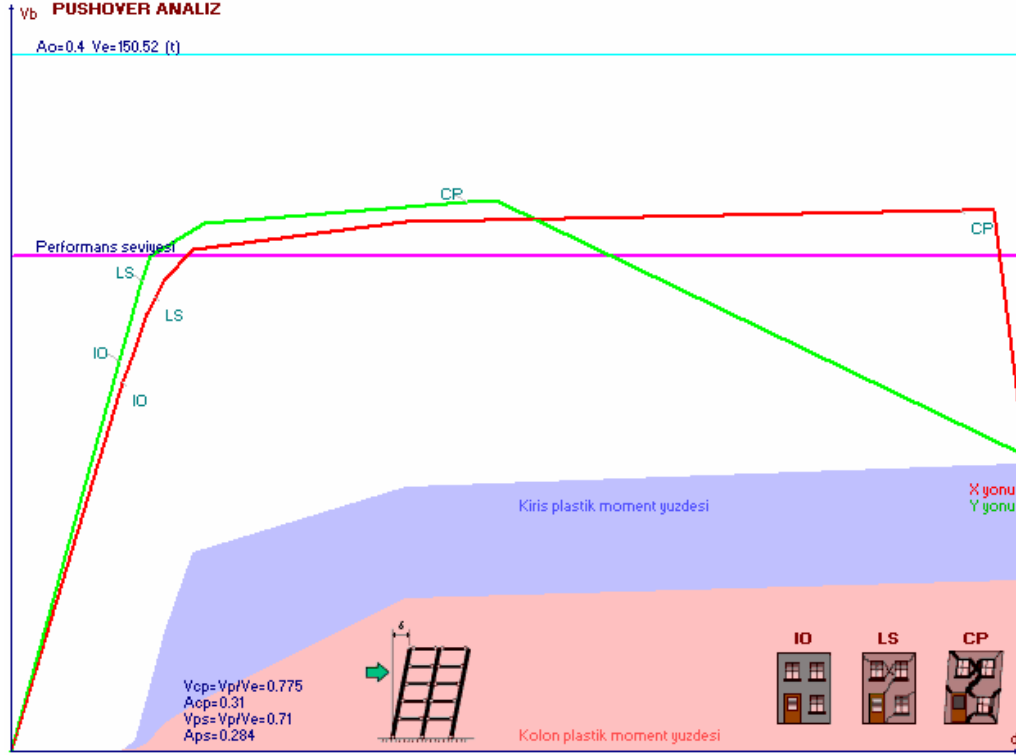
2) Yapının, mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve donatısı ile 1998 Türk Deprem Yönetmeliğine göre performans seviyesi, yapının X ve Y yönleri için göçme yükleri ve yapı periyodu bulunmuştur. Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ( $V$ ) ve çatı yer değiştirmesi ( $\delta_{\text{çatı}}$ ) de bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri

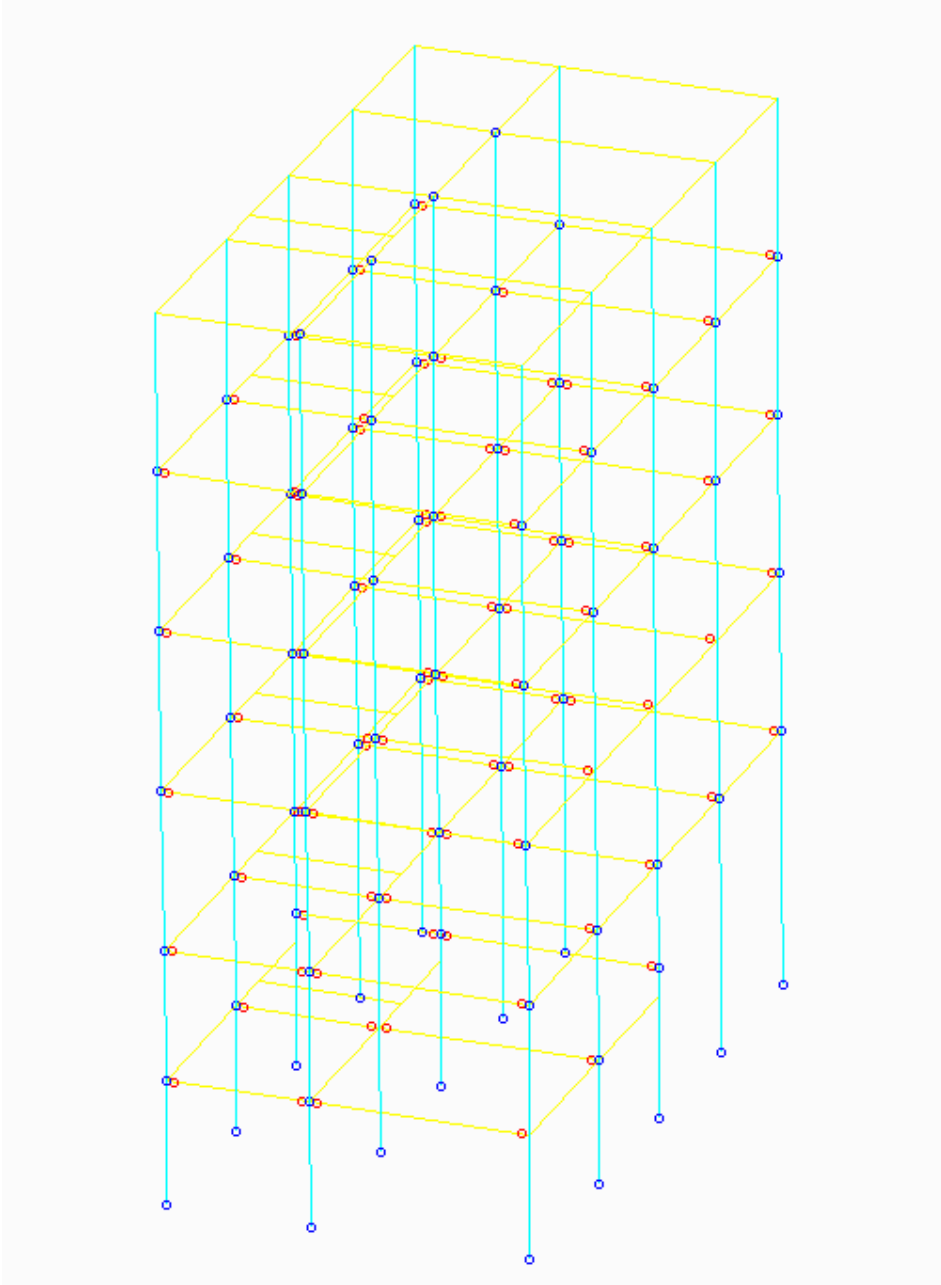
Yapının X yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 116,726$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,109$  m'dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 125.24$  ton'dur. Yapının Y yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 118,695$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,0526$  m dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 127.23$  ton'dur.

Yapının performans seviyesi (LS - CP) sınırlı güvenlik performans aralığı olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu yapıda oluşan periyotlar da, X yönünde  $T = 0,5031$  s, Y yönünde  $T = 0.4727$  s'dir. Yapıya ait performans seviyesi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre performans seviyesi

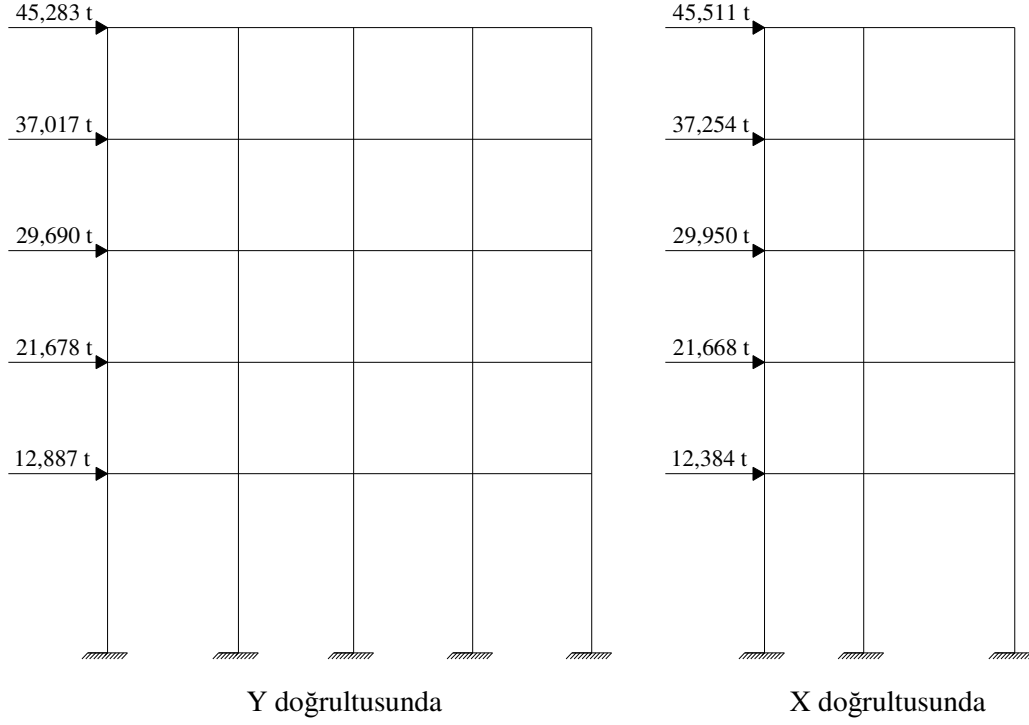
Statik itme analizi sonucunda X yönünde yapıda, 9 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 18 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 89 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Y yönünde ise yapıda 5 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 8 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 110 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

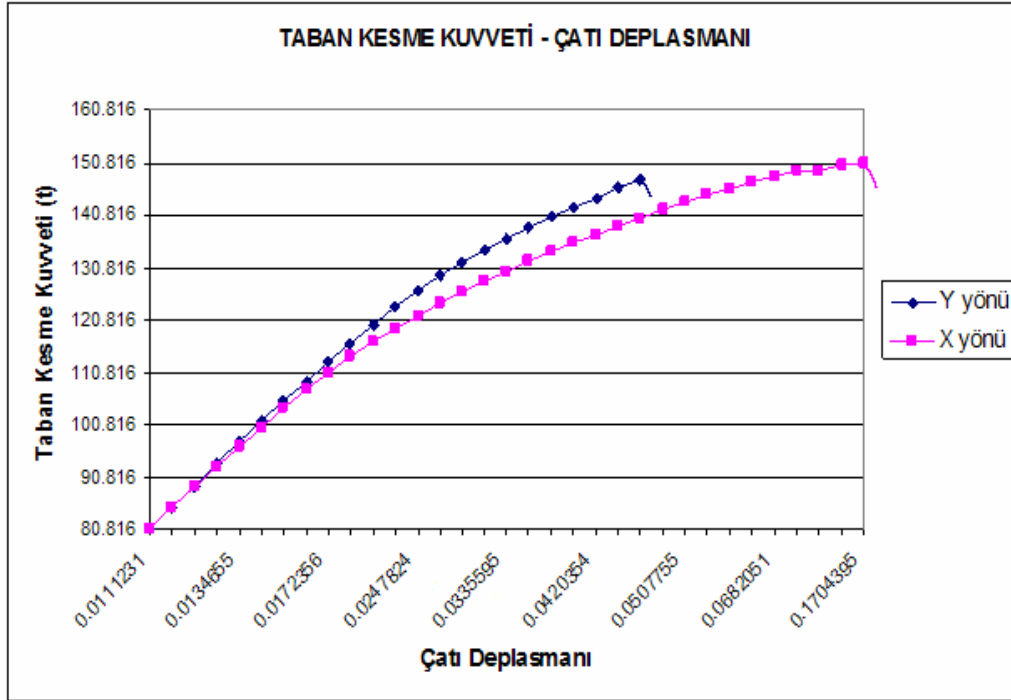


Yapıya etkiyen deprem yükleri, X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve mevcut donatılı yapının 1998 TDY göre X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri

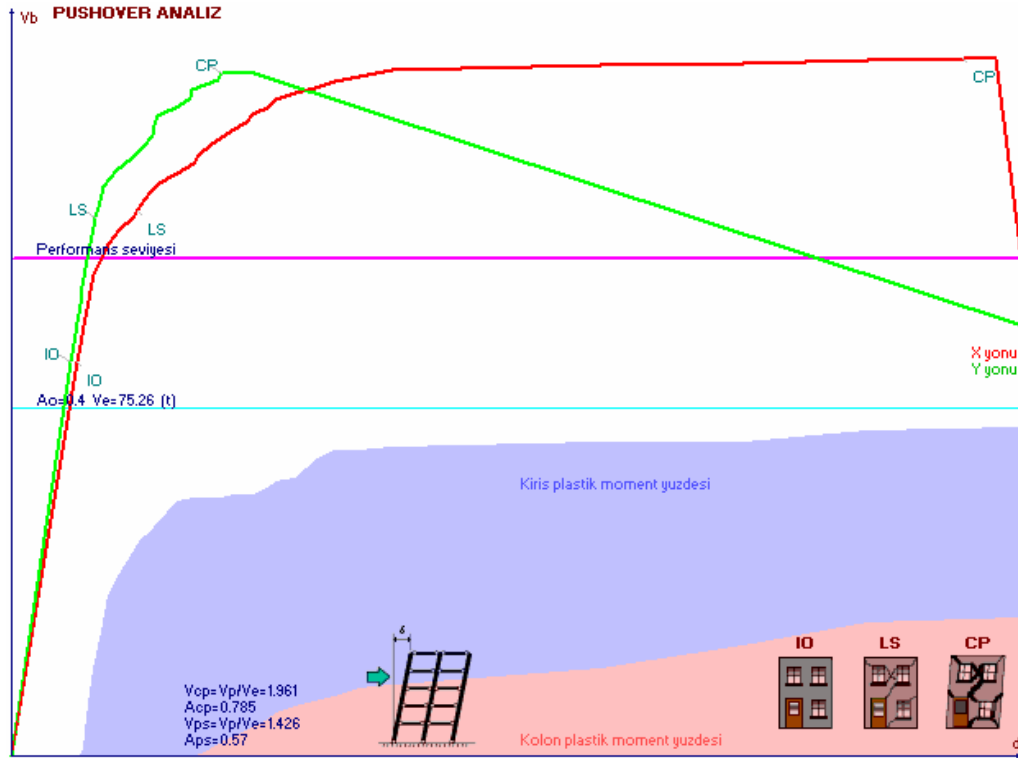
3) Yapının mimari özelliklerini koruyarak, 1998 Türk Deprem Yönetmeliklerinin şart ve gereklerine uygun olarak yeniden yapılması halindeki performans seviyesi, yapının X ve Y yönleri için göçme yükleri ve yapı periyodu bulunmuştur. Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V) ve çatı yer değiştirmesi ( $\delta_{\text{çatı}}$ ) de bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri

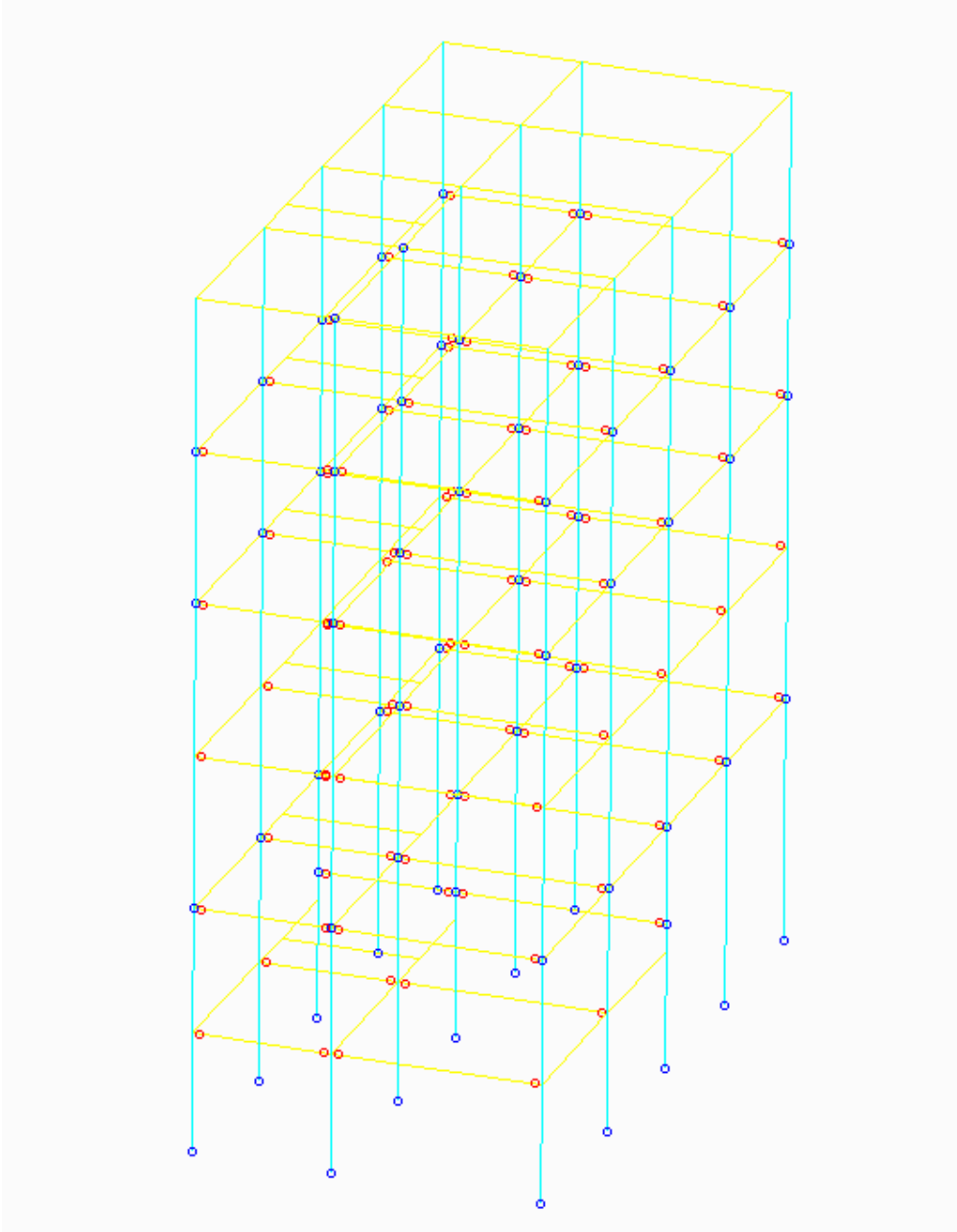
Yapının X yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 150,781$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,170$  m’dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 160,29$  ton’dur. Yapının Y yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 147,617$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,038$  m dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 169,76$  ton’dur.

Yapının performans seviyesi (IO - LS) hasar kontrolü performans aralığı olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu yapıda oluşan periyotlar da, X yönünde  $T = 0,4637$  s, Y yönünde  $T = 0,4357$  s'dir. Yapıya ait performans seviyesi Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



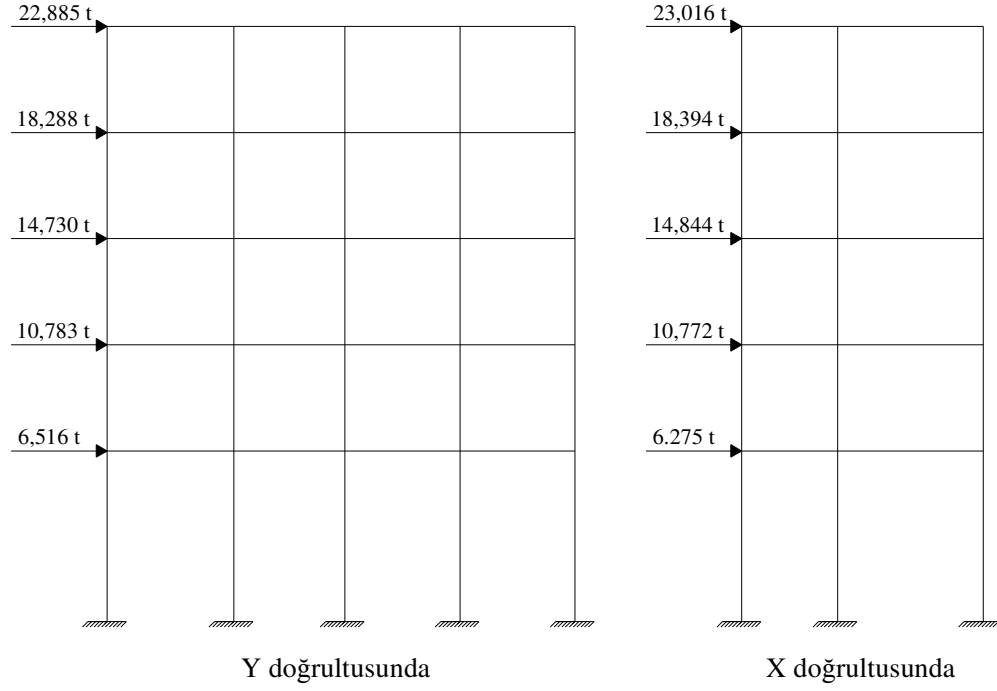
Şekil 4.14. 1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapının performans seviyesi.

Statik itme analizi sonucunda X yönünde yapıda, hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO) plastik mafsall oluşmamıştır, 30 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 84 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Y yönünde ise yapıda, hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO) plastik mafsall oluşmamıştır, 11 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 61 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



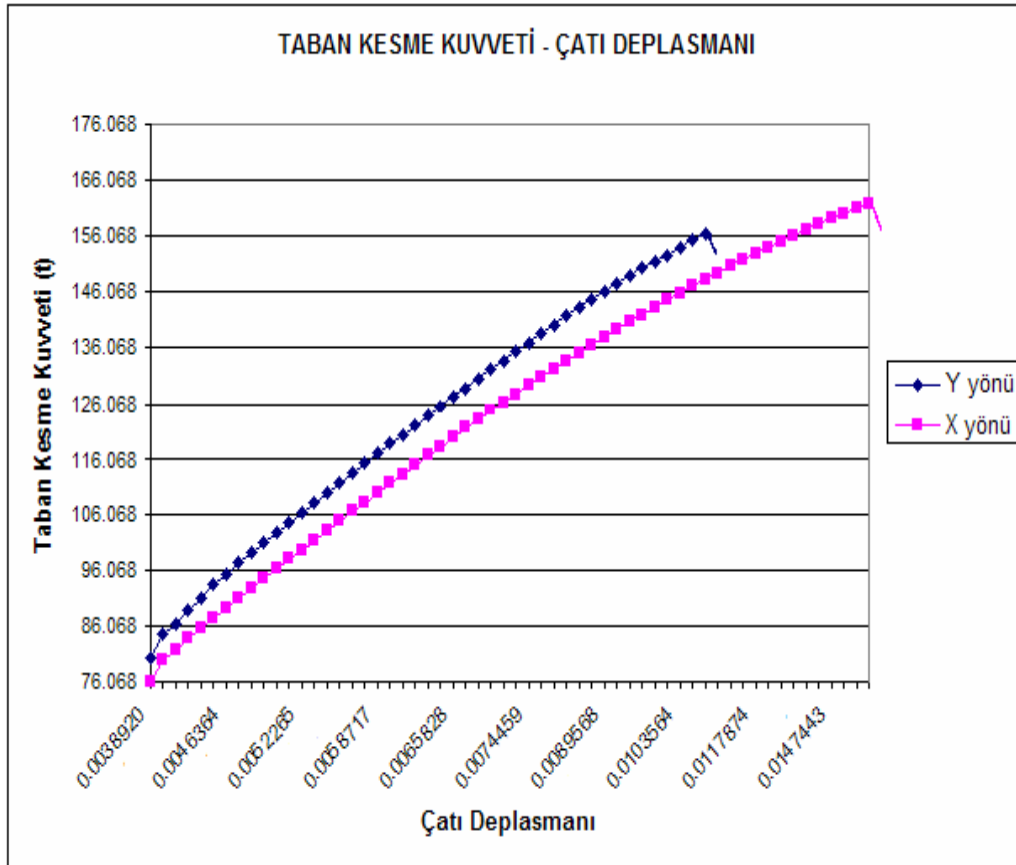
Şekil 4.15. 1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

Yapıya etkiyen deprem yükleri, X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. 1998 TDY göre yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri

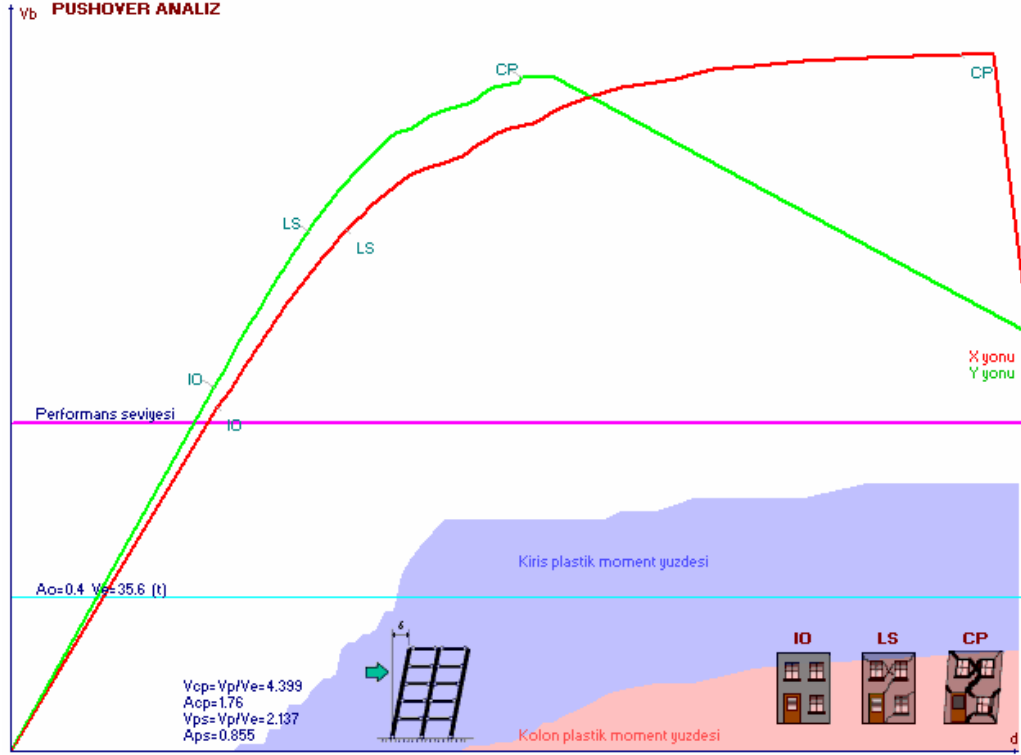
4) Yapı 1998 Türk Deprem Yönetmeliğin şart ve gereklerine uygun olarak, iki katlı olarak yeniden yapılması halindeki performans seviyesi, yapının X ve Y yönleri için göçme yükleri ve yapı periyodu bulunmuştur. Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ( $V$ ) ve çatı yer değiştirmesi ( $\delta_{\text{çatı}}$ ) de bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. 1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri

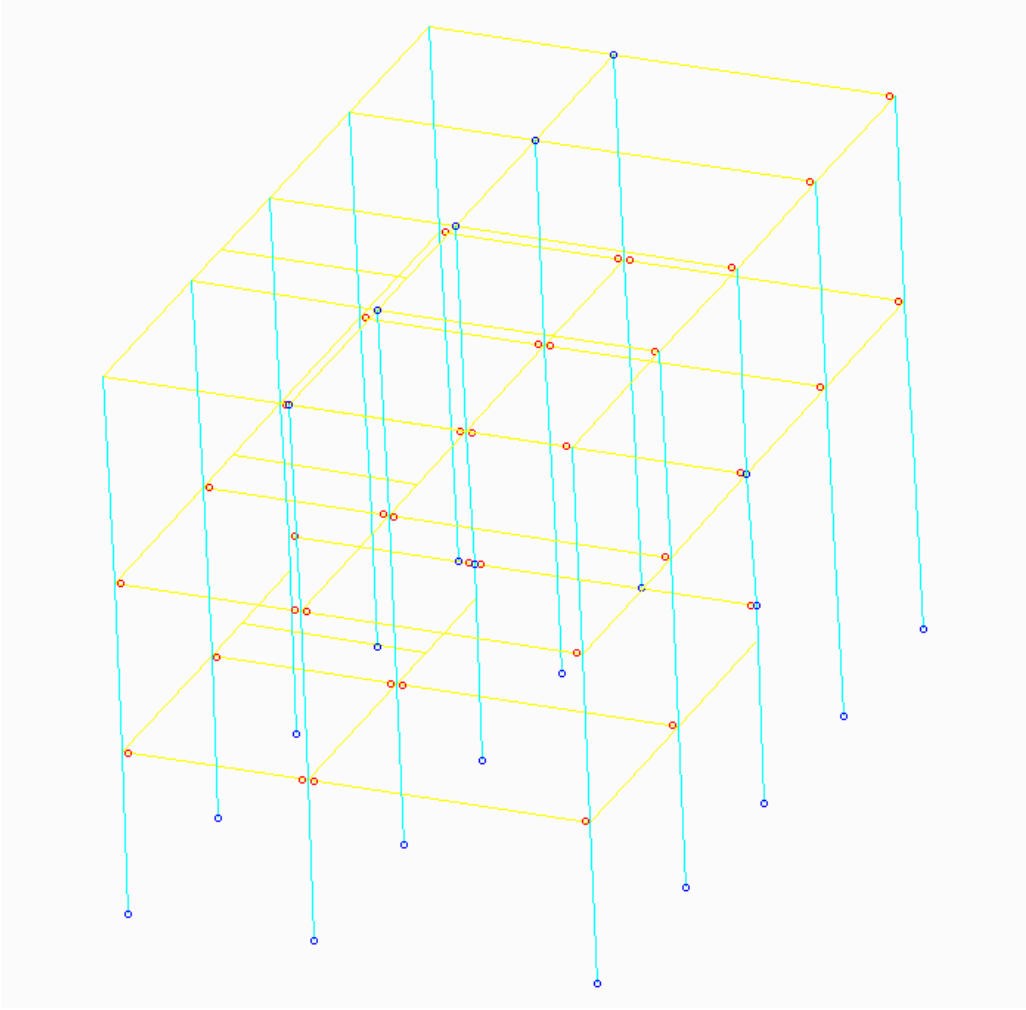
Yapının X yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 161,783$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,0188$  m’dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 165,91$  ton’dur. Yapının Y yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 156,595$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,0101$  m dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 169,31$  ton’dur.

Yapının performans seviyesi (B - IO) hemen kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu yapıda oluşan periyotlar da, X yönünde  $T = 0,2140$  s, Y yönünde  $T = 0,1929$  s'dir. Yapıya ait performans seviyesi Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. 1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapının performans seviyesi

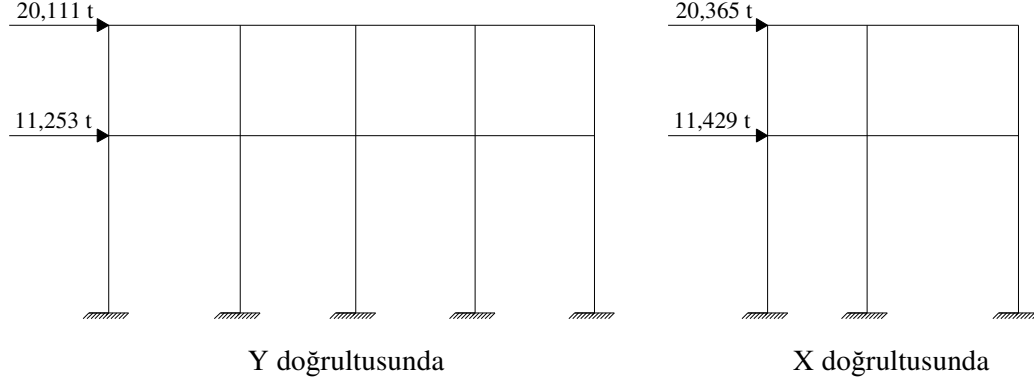
Statik itme analizi sonucunda yapıda X yönünde, hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO) plastik mafsal oluşmamıştır, 7 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 37 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Y yönünde ise yapıda, 1 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 3 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 26 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. 1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

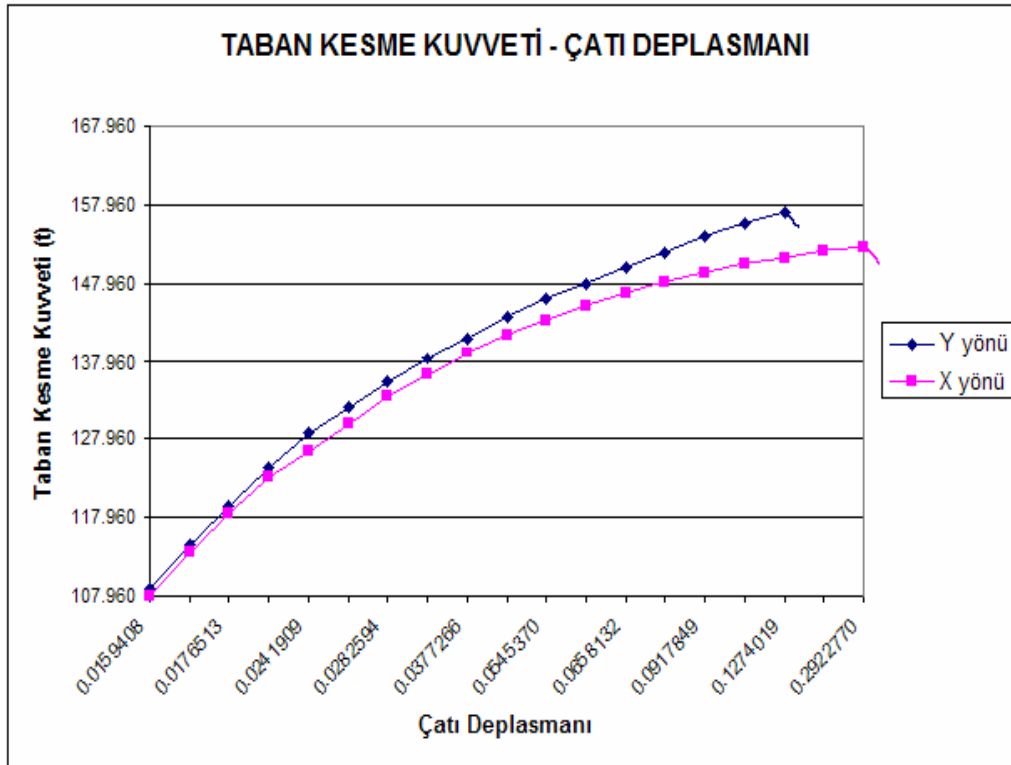


Yapıya etkiyen deprem yükleri, X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. 1998 TDY göre iki katlı olarak yeniden boyutlandırılan yapının X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri

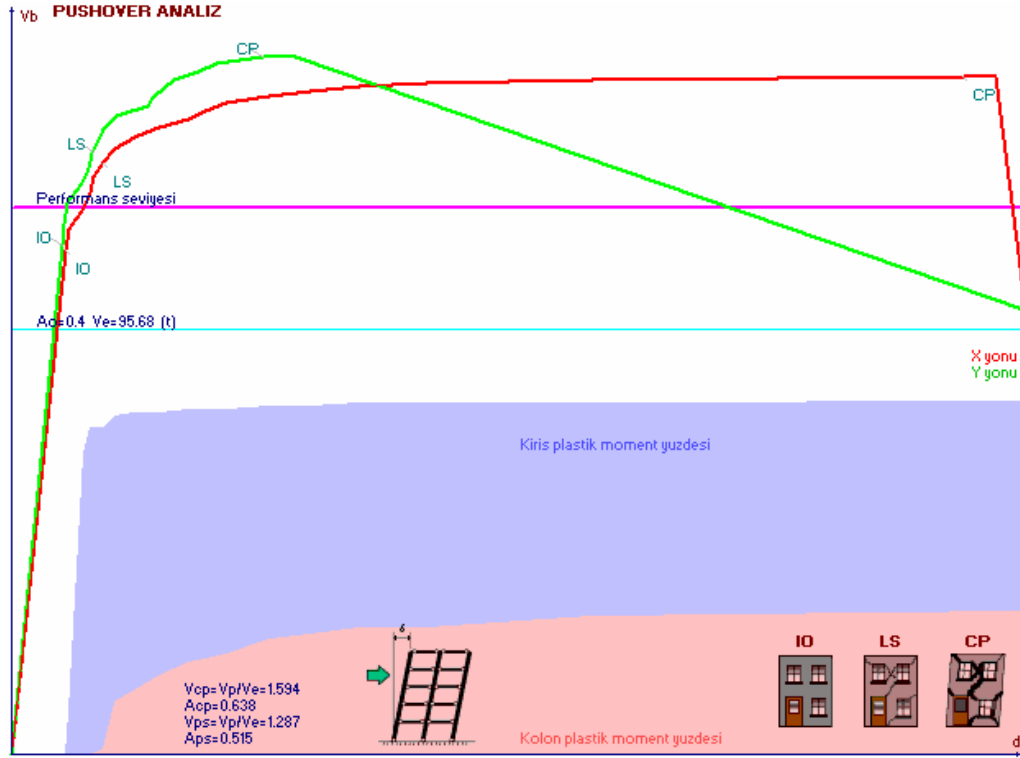
5) Yapının, mevcut kesit, mevcut malzeme özellikleri ve donatısı ile 1998 Türk Deprem Yönetmeliğine göre ilave perdeler ile güçlendirme yapılarak, performans seviyesi, yapının X ve Y yönleri için göçme yükleri ve yapı periyodu bulunmuştur. Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V) ve çatı yer değiştirmesi ( $\delta_{\text{çatı}}$ ) de bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. 1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapının X ve Y yönleri için taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı eğrileri

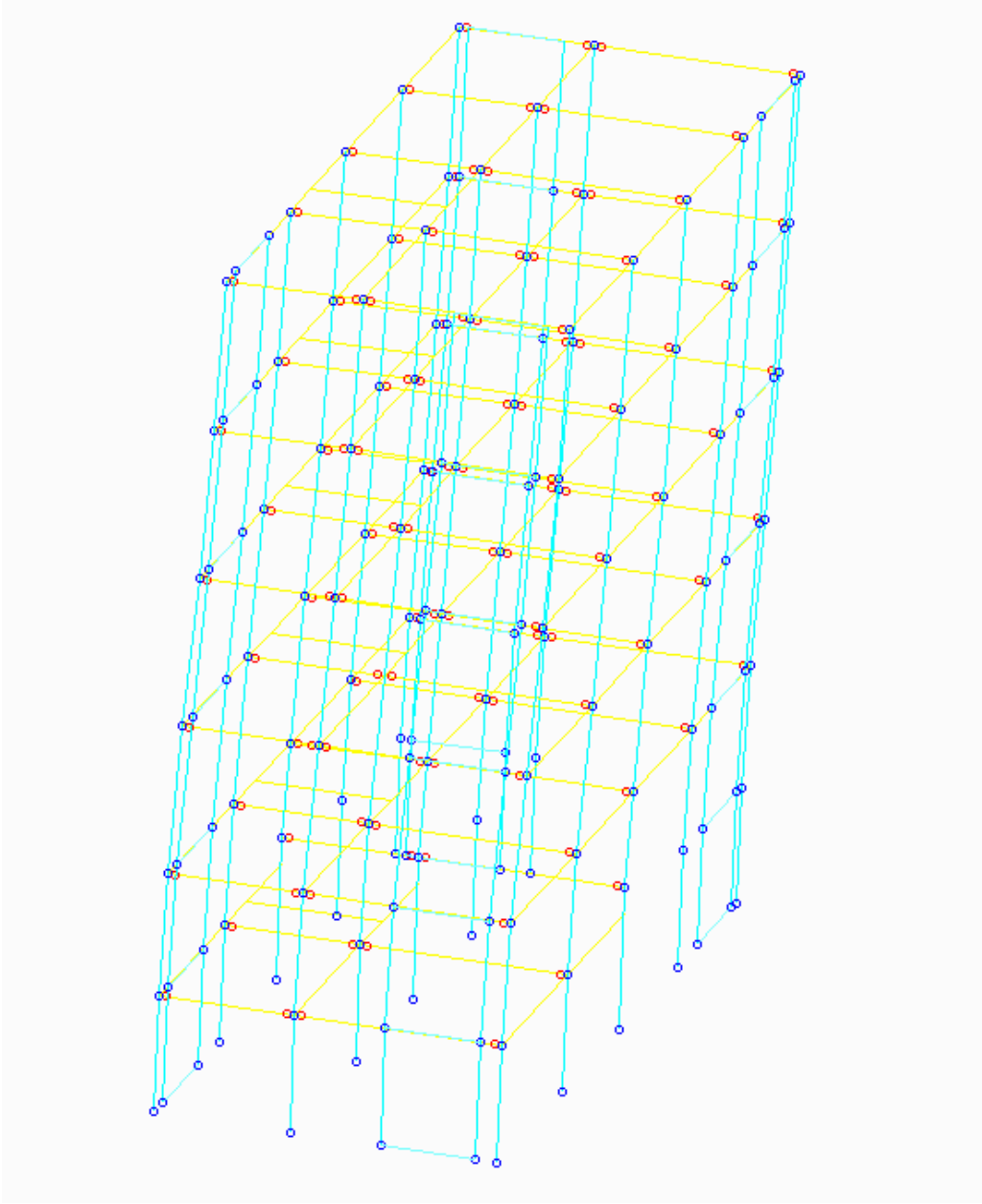
Yapının X yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 152,558$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,292$  m’dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 153,01$  ton’dur. Yapının Y yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 157,096$  ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı deplasmanı  $\delta_{\text{çatı}} = 0,077$  m dir, bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{gç}} = 157,57$  ton’dur.

Yapının performans seviyesi (IO - LS) hasar kontrolü performans aralığı olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu yapıda oluşan periyotlar da, X yönünde  $T = 0,4713$  s, Y yönünde  $T = 0,4557$  s'dir. Yapıya ait performans seviyesi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



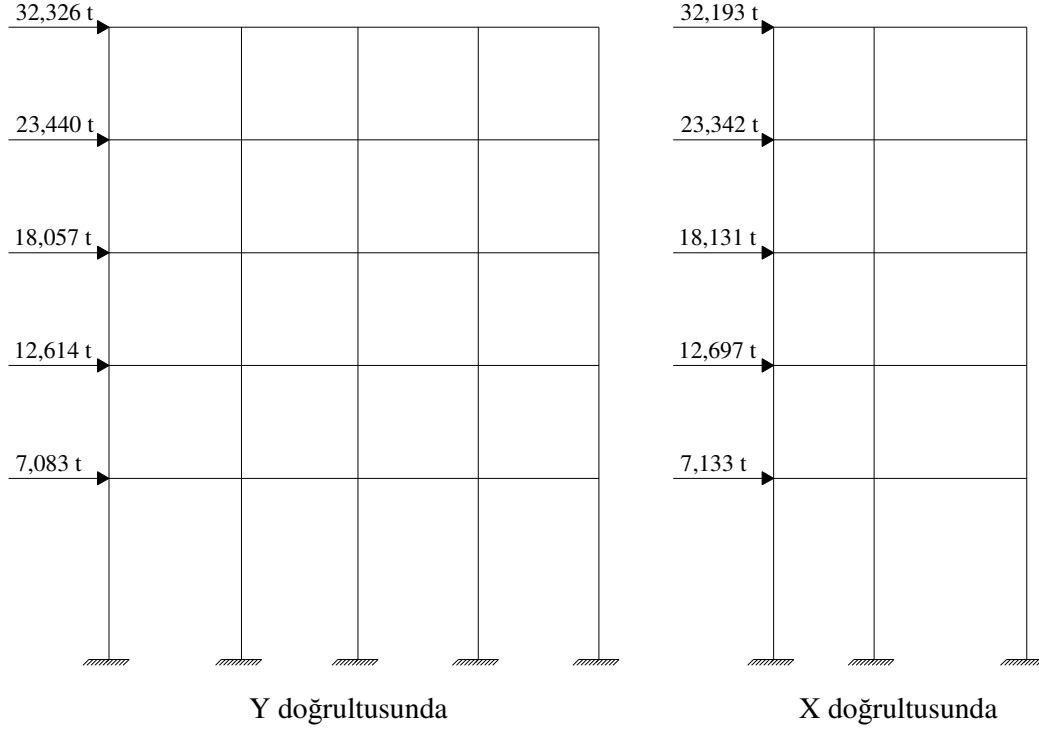
Şekil 4.22. 1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapının performans seviyesi

Statik itme analizi sonucunda X yönünde yapıda, 20 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 29 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 118 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Y yönünde ise yapıda 7 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B - IO), 53 tanesi hasar kontrol aralığında (IO - LS), 111 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS - CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.23'de gösterilmiştir.



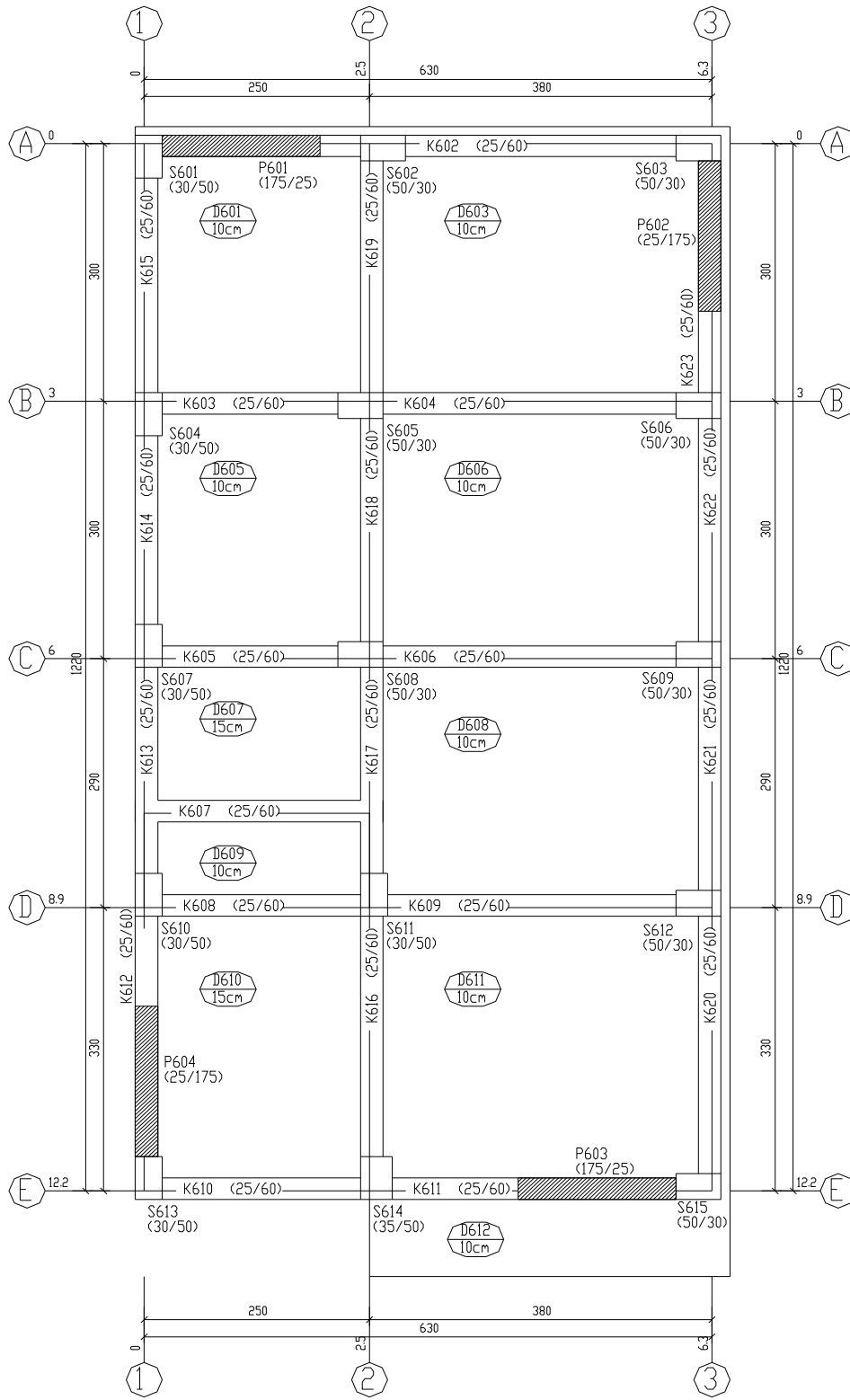
Şekil 4.23. 1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapıda göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

Yapıya etkiyen deprem yükleri, X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. 1998 TDY göre perdeler ile güçlendirilmiş yapının X ve Y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükleri

Güçlendirme çalışmasında yapının taban alanının %1 kadar X ve Y yönlerine konulan perdelerin kalıp planındaki yerleri Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Güçlendirmede kullanılan perdelerin kalıp planında gösterimi

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Adapazarı ilçesinde 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilip inşa edilmiş mevcut bir betonarme yapının deprem güvenliğinin kontrolü statik itme analizi (Pushover) yöntemiyle yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak mevcut yapının taşıyıcı sisteminin tasarımında ve boyutlandırılmasında herhangi bir değişiklik yapılmadan 1975 ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliklerine (TDY) göre, yapının karşılayabileceği taban kesme kuvvetinin tasarım depremi sonucu oluşacak kuvvete oranını veren göçme yük parametresi ( $P_{gç}$ ) ve yapının performans noktası elde edilmiştir.

Mevcut yapının taşıyıcı sisteminin tasarımında ve boyutlandırılmasında herhangi bir değişiklik yapılmadan 1975 TDY göre yapının performans seviyesi (B - IO) hemen kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir ve yük parametreleri de X yönü için  $P_{gç} = 123,99$  t, Y yönü için  $P_{gç} = 125,79$  t'dur. Bu da gösteriyor ki yapı projelendirme aşamasında taşıyıcı sistem tasarım modellenmesi doğru yapılmıştır. Performans seviyesinin iyi çıkmasındaki diğer bir etken de yapının planda düzenli bir yapı olmasıdır.

Mevcut yapının taşıyıcı sisteminin tasarımında ve boyutlandırılmasında herhangi bir değişiklik yapılmadan 1998 TDY göre analiz yapılamasının nedeni, yapı doğru projelendirilmiş bile olsa statik itme analizi sonucunda günümüz kriterlerine göre istenilen değerlere ulaşp ulaşamayacağını kontrol etmektir. Çünkü günümüzde 1975 TDY göre inşa edilmiş birçok mevcut yapı vardır ve bu analiz yapıların deprem güvenliği kontrolünün gerekli olup olmadığı konusunda mühendisler ışık tutacaktır. Yapının 1998 TDY göre performans seviyesi (LS - CP) sınırlı güvenlik performans seviyesi olarak belirlenmiştir ve yük parametreleri de X yönü için  $P_{gç} = 125,24$  t, Y yönü için  $P_{gç} = 127,23$  t'dur.

Bu analiz sonucu gösteriyor ki yapı, 1998 TDY’de yaklaşık olarak belirlenmiş olan hasar kontrolü performans aralığına düşmemiştir, yani yapı mevcut haliyle 1998 TDY uygun değildir. Bu da bize 1975 TDY göre projelendirilip inşa edilmiş yapıların deprem güvenliklerinin kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir.

İkinci olarak yapı 1998 Türk Deprem Yönetmeliğin şart ve gereklerine uygun olarak ve mimari özellikleri korunarak yeniden tasarlanıp boyutlandırılmıştır. Ayrıca yapı mevcut imar durumuna göre iki katlı olarak da tasarlanıp boyutlandırılmıştır. Bu iki durum için yapının karşılayabileceği taban kesme kuvvetinin tasarım depremi sonucu oluşacak kuvvete oranını veren göçme yük parametreleri ( $P_{gç}$ ) ve yapının performans seviyeleri elde edilmiştir.

1998 TDY şart ve gereklerine uygun olarak ve mimari özellikleri korunarak yapı yeniden tasarlanıp boyutlandırıldığında performans seviyesi (IO - LS) hasar kontrolü performans aralığı olarak belirlenmiştir ve yük parametreleri de X yönü için  $P_{gç} = 160,29$  t, Y yönü için  $P_{gç} = 169,76$  t’dur. Bu durumda, mevcut yapı yıkılıp yerine mimari özellikleri korunarak yeni yapı yapıldığında, performans seviyesi (LS - CP) sınırlı güvenlik performans aralığından, (IO - LS) hasar kontrolü performans aralığına yükseldiği gözükmemektedir. Bu performans farkındaki en önemli etken de yeni yapıda beton ve donatı sınıfının yüksek olmasıdır. Özellikle donatı sınıfının artmasının performans seviyesine etkisi daha büyük olmaktadır. Mevcut yapı yıkılıp yerine mimari özellikleri korunarak yeni yapı yapıldığında performans seviyesi 1998 TDY uygun hale gelmektedir.

Mevcut yapı mimari özellikleri korunarak iki katlı olarak yeniden tasarlanıp boyutlandırıldığında performans seviyesi (B - IO) hemen kullanım performans seviyesi olarak belirlenmiştir ve yük parametreleri de X yönü için  $P_{gç} = 165,91$  t, Y yönü için  $P_{gç} = 169,31$  t olarak bulunmuştur. Bu durumda gösteriyor ki yapı iki katlı yapıldığında, beş katlı yapıya göre daha iyi bir performans göstermiştir ve yapı bu haliyle 1998 TDY göre uygundur.



Mevcut yapının 1998 TDY göre kesitlerde, malzeme özelliklerinde ve donatısında değişiklik yapılmadan yapılan analiz sonucunda yapı (LS - CP) sınırlı güvenlik performans seviyesi çıkmıştı. Bu durum 1998 TDY uygun değildir. Yapıyı yönetmeliğe uygun bir performans seviyesine getirebilmek için ya yıkıp yeniden yapılmalıdır ya da güçlendirme yapılmalıdır. İlk durumun çözümünü yapmıştık şimdi ise yapının güçlendirilmesi durumu incelenecektir.

Yapıda yapılan güçlendirme çalışmasında, yapıya X ve Y yönlerinde taban alanının %1 kadar perdeler ilave edilmiştir. Güçlendirme sonunda yapının performans seviyesi (IO - LS) hasar kontrolü performans aralığında çıkmıştır. Göçme yük parametreleri de X yönü için  $P_{gç} = 153,01$  t, Y yönü için  $P_{gç} = 157,57$  t olarak bulunmuştur. Böylelikle yapı güçlendirilerek 1998 TDY uygun hale getirilebilmiştir.

Mevcut yapıdaki güçlendirme çalışmasında,  $7 \text{ m}^3$  beton ve 2,6 ton civarında demir kullanılacakken, yapının yıkılıp tekrar yapılması halinde  $280 \text{ m}^3$  beton ve yaklaşık 18 ton demir kullanılması gerekmektedir. Ayrıca yapının yıkım masrafları ve işçilik farkları düşünüldüğünde, yapının güçlendirilerek deprem güvenliğinin sağlanması daha ekonomik olmaktadır.

Bu verilerin ışığında statik itme yöntemi, yapıların deprem yükleri altındaki gerçek davranışını anlamamıza ve buna bağlı olarak mevcut yapıların güvenliğinin artırılmasında veya yeni yapılar için güvenlik seviyesinin saptanmasında önemli bir analiz yöntemi olduğu açıktır.

## KAYNAKLAR

- [1] “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
- [2] ATC (1996), “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)”, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- [3] FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, FEMA 273/356., Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Cilt I, California/USA, 1996.
- [4] CELEP, Z., KUMBASAR, N., “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanlı Yapı Tasarımı”, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [5] POLAT, Z., KIRÇIL, M., HANCIOĞLU, B., “Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin İncelenmesi ve Performans Yaklaşımı”, Y.T.Ü İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2004.
- [6] CELEP, Z., KUMBASAR, N., Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul, 2001.
- [7] CELEP, Z., Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, İ.M.O. İstanbul Şubesi, 2001.
- [8] GİRGİN, K., Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artım Yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [9] CELEP, Z., Performans Kavramına Dayalı Tasarım ve Güçlendirme. İ.T.Ü. Mustafa İnan Tatbiki Mekanik Seminerleri, İstanbul, 2005.
- [10] MEHMET AYDIN KÖMÜR, “Yapay Sinir Ağları ile Betonarme Binaların Statik İtme Analizi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2003.
- [11] AYDOĞAN, M., GÜLER, K., Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul, 2001.

- [12] AYDINOĞLU, M.N., “Deprem Mühendisliğinde Dayanıma Göre Tasarımdan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarıma”, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [13] TEZCAN, S., Aseismic Design of Structures (Pushover Analysis). B.Ü. Ders Notları, İstanbul, 2003.
- [14] ERSOY, U., “Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı”, Cilt1, Evrim Yayınevi, İstanbul, 1985.
- [15] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [16] TS-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [17] STA4-CAD V.11.0., STructural Analysis for Computer Aided Design.

## ÖZGEÇMİŞ

Ferhat Temür, 10.08.1980 de Ordu' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. Lisans eğitimine 1999-2000 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2002-2003 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümünden bahar yarı yılında mezun oldu. 2003-2004 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı.